COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001 =
= ISO 14001 =
= ISO 45001 =

| PROPONENTE: | PROGETTO: |
|---|---|
| **Infrastructure Italia Land 2 S.r.l.**<br>*Via del Bosco Rinnovato, 6*<br>***20057 Assago (Milano)*** | ***DATA CENTER***<br>***STACK CAMPUS SIZIANO***<br>***Via Marche 8, Siziano (PV)*** |

# *Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi dell'art.23 del D.Lgs. 152/06 e s.m. e i.*

# *Studio di compatibilità e monitoraggio vibrazionale AO-CO-PO*

| *COMMESSA* | *DATA* | *REV* | *REDATTO* | *VERIFICATO* | *APPROVATO* |
|---|---|---|---|---|---|
| *IN.25.001* | *giugno 2026* | *Prima emissione* | *R. Mani* | *T. Baruzzo* | *A. Lucioni* |


ambiente
ingegneria ambientale
APEM Group

**Sede di Milano**
via Tibullo 2 – 20151 Milano
Tel. 0245473370
Fax. 0245473371

Web page: www.ambientesc.it

**Altre sedi principali**
**Carrara (sede legale e operativa)** Via Frassina, 21 - 54033 Carrara (MS) - Tel. 0585/855624 - Fax. 0585/855617
**Firenze** Via di Soffiano, 15 - 50143 Firenze (FI) - Tel. 055/7399056 - Fax 055/7134442
**Roma** Via C. Colombo, 149 - 00147 Roma (RM) - Tel. 06/45678571
**Taranto** Via Matera, km 598/I - 74014 Laterza (TA) - Mob. 347/1083531

## Premessa

Con il presente documento, ***ambiente srl*** ha eseguito il mandato affidatole da **LOMBARDINI22 Spa per il progetto di STACK CAMPUS a Siziano (PV)** con la diligenza richiesta.

Le elaborazioni ed i risultati illustrati nel presente documento, sono stati ottenuti ottemperando le normative vigenti e le regole riconosciute nel settore di operatività e sono basati sullo stato delle conoscenze all'atto di stesura del rapporto.

***In riferimento a ciò ambiente srl ha proceduto alla predisposizione della presente documentazione richiesta secondo le informazioni e le specifiche fornite dalla Committenza, la quale pertanto si assume ogni qualsivoglia responsabilità in ordine alla veridicità e correttezza delle stesse.***

A tal fine, ***ambiente srl*** considera che:

- il committente, o i terzi da lui designati, hanno fornito tutte le informazioni corrette ed i documenti completi per l'esecuzione del mandato;
- il presente documento non verrà utilizzato in modo parziale;
- le elaborazioni ed i risultati conseguiti presenti nel seguente documento non verranno utilizzati per uno scopo diverso da quello convenuto o per altro oggetto, né saranno trasposti a circostanze modificate, senza essere stati riesaminati;
- nel presente documento con il termine "Committente" o "STACK" si intende la società Infrastructure Italia Land 2 parte del gruppo STACK e le altre società proprietarie di aree e/o datacenter nel CAMPUS di Siziano appartenenti allo stesso Gruppo di seguito elencate e che forniscono delega allegata: STACK Emea Italy srl, Infrastructure Italia Land 1 srl, Infrastructure Italia Land 3 srl, Infrastructure Italia Land 7 srl e Infrastructure Italia Land 2C srl.

**SOMMARIO**

**1 INTRODUZIONE ..... 6**

**2 INQUADRAMENTO NORMATIVO ..... 7**

2.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI ..... 7

*2.1.1 ISO 2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni" ..... 8*

*2.1.2 UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" ..... 9*

*2.1.3 UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" ..... 18*

2.2 LINEE GUIDA MASE D.D. VA N. 257 DEL 02/08/2024 ..... 20

2.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ..... 20

**3 INQUADRAMENTO DELL'AREA ..... 22**

3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE ..... 22

3.2 INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI ..... 24

3.3 CONTESTO GEOLOGICO ..... 25

*3.3.1 Inquadramento geologico e geomorfologico di area vasta ..... 25*

*3.3.2 Caratterizzazione geologica e litostratigrafica del sito ..... 26*

*3.3.3 Caratterizzazione del terreno ai fini della modellazione vibrazionale ..... 28*

**4 VALUTAZIONE DEL CLIMA VIBRAZIONALE ATTUALE ..... 30**

4.1 MONITORAGGIO VIBRAZIONALE ..... 30

4.2 CONFRONTO CON I LIMITI ..... 32

4.3 VALUTAZIONE DELLO STATO ATTUALE DELLE VIBRAZIONI ..... 32

**5 STUDIO DI IMPATTO VIBRAZIONALE – MODELLO PREVISIONALE ..... 34**

5.1 DEFINIZIONE DEL DISTURBO VIBRAZIONALE ..... 34

5.2 METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEI LIVELLI VIBRAZIONALI INDOTTI DAL CANTIERE ..... 34

5.3 MODELLO DI CALCOLO ..... 37

*5.3.1 Sorgenti superficiali ..... 37*

*5.3.2 Sorgenti in profondità ..... 39*

*5.3.3 Sintesi delle ipotesi assunte ..... 40*

**6 VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO VIBRAZIONALE – FASE DI CANTIERE ..... 41**

6.1 INTRODUZIONE ..... 41

6.2 INQUADRAMENTO DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO ..... 41

6.3 VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI AMBIENTALI LEGATI AL CANTIERE ..... 43

*6.3.1 Definizione degli scenari di lavoro ..... 43*

*6.3.2 Valutazione della propagazione delle vibrazioni ..... 46*

*6.3.3 Stima dei futuri livelli vibrazionali ..... 47*

*6.3.4 Valutazione delle vibrazioni ai ricettori ..... 50*

*6.3.5 Misure di prevenzione e mitigazione ..... 54*

**7 VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO VIBRAZIONALE – FASE DI ESERCIZIO ..... 57**

7.1 INTRODUZIONE ..... 57

7.2 DESCRIZIONE DELLE SORGENTI DI VIBRAZIONI CONNESSE ALL'OPERA ..... 57

*7.2.1 Chiller ..... 58*
*7.2.2 Parco generatori di energia elettrica a terra ..... 59*
*7.2.3 Viabilità pertinente al data center ..... 74*

**8 CONCLUSIONI ..... 77**

**INDICE DELLE FIGURE**

Figura 2-1 - Individuazione corretta e non corretta dei punti di misura ..... 12
Figura 2-2 - Schema di calcolo dell'accelerazione ponderata efficace secondo la UNI 9614:2017 ..... 15
Figura 3-1 - Area di intervento in relazione alle città di Milano e di Pavia ..... 23
Figura 3-2 - Quadro territoriale dell'area di intervento ..... 24
Figura 3-3 - Localizzazione dei recettori nell'area ..... 25
Figura 3-4 – Estratto della "Carta Geologica D'Italia" Foglio n.59 Pavia (in rosso è indicato il sito) ..... 26
Figura 3-5 –Estratto Tav.1 "Carta geomorfologica" scala 1:5.000 PGT del Comune di Siziano (in rosso è indicato il sito di interesse) ..... 27
Figura 3-6 –Estratto "Carta litologica" scala 1:5.000 PGT del Comune di Siziano (in rosso è indicato il sito di interesse) .27
Figura 4-1 - Localizzazione dei recettori nell'area e postazioni di misura ..... 31
Figura 4-2 - Foto delle posizioni del punto di misurazione VIB_01 ..... 32
Figura 5-1 – Relazione tra mezzi d'opera e spettro di emissione di vibrazioni ..... 34
Figura 5-2 – Filtri di ponderazione per i diversi assi di riferimento ..... 35
Figura 5-3 – Propagazione dello spettro di vibrazione ..... 36
Figura 5-4 – Valutazione della propagazione del livello di vibrazioni (Vettore Sorgente) a diverse distanze ..... 37
Figura 5-5 – Tipi di onda di volume e di superficie (a sinistra) e velocità relativa delle onde P, R rispetto onde S (a destra) ..... 37
Figura 5-6 – Schema della propagazione a partire da una sorgente profonda ..... 39
Figura 6-1 – Mappa generale della localizzazione degli interventi ..... 42
Figura 6-2 – Spettri delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z ..... 46
Figura 6-3 – Propagazione dei livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza ..... 46
Figura 6-4 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 01 ..... 48
Figura 6-5 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 02 ..... 48
Figura 6-6 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 03 ..... 49
Figura 6-7 – Ampiezza propagazione delle vibrazioni – Sc.01 ..... 51
Figura 6-8 – Ampiezza propagazione delle vibrazioni – Sc.02 ..... 52
Figura 6-9 – Ampiezza propagazione delle vibrazioni – Sc.03 ..... 53
Figura 7-1 – Spettro delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z ..... 61
Figura 7-2 – Propagazione dei livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza ..... 62
Figura 7-3 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali in fase di esercizio dei generatori .63
Figura 7-4 – Ubicazione dei generatori elettrici considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL01 ..... 65
Figura 7-5 – Ubicazione dei generatori elettrici considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL02 ..... 65
Figura 7-6 – Ubicazione dei generatori elettrici considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL03 ..... 66
Figura 7-7 – Ubicazione dei generatori elettrici diesel considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL07 ..... 66
Figura 7-8 – Ubicazione dei generatori elettrici diesel considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL08 ..... 67
Figura 7-9 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 1 per MIL01 ..... 68

Figura 7-10 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 2 per MIL01 ....69
Figura 7-11 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 3 per MIL02 ....70
Figura 7-12 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 4 per MIL03 ....71
Figura 7-13 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 5 per MIL07 ....72
Figura 7-14 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 6 per MIL08 ....73
Figura 7-15 - Influenza della rugosità del fondo stradale - (a) fondo buono - (b) fondo scadente ....75

**INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 4-1 - Dettaglio dei rilievi effettuati durante la campagna di misurazione del giugno 2026 ....30
Tabella 4-2 - Risultati monitoraggio vibrometrico presso ricettore R11 ....31
Tabella 4-3 - Confronto con il limite diurno ....32
Tabella 4-4 - Confronto con il limite notturno ....32
Tabella 5-1 - Definizione dell'esponente n in base al tipo di sorgente e onda ....38
Tabella 5-2 - Coefficiente di attenuazione ....38
Tabella 6-1 - Sintesi distanze dal confine dell'area di cantiere per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti i limiti ....49
Tabella 7-1 - Sintesi distanze dai singoli generatori per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti i limiti ....63

**Allegati**

Allegato 1 – Certificati misure vibrometriche

Allegato 2 – Certificati strumentazione

# 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la **Valutazione di Impatto Vibrazionale predisposta** in **risposta alla richiesta di documentazione integrativa** formulata nell'ambito della Procedura di Valutazione d'Impatto Ambientale, ai sensi dell'art. 23 del D.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. relativa al progetto "**Data Center Stack Campus Siziano (PV)**" con proponente Infrastructure Italia Land 2 Srl.

In particolare, alla prescrizione n.4 contenuta nel Parere del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), che richiede: *"Il Proponente dovrà predisporre uno studio di compatibilità dell'opera in relazione alle vibrazioni, con stima dei livelli vibrazionali sui recettori individuati nella fase di corso d'opera, conformemente a quanto previsto dalla norma UNI 9614:2017. Lo studio dovrà riguardare le fasi ante, in corso e post opera, con report dedicati, descrivendo le sorgenti di vibrazioni e il mezzo di propagazione, anche attraverso modellazione secondo il cronoprogramma di cantiere e, successivamente, di normale esercizio, test dei generatori e funzionamento a pieno regime in blackout."*

Il documento costituisce, quindi, la valutazione per il progetto di ampliamento del Campus Data Center situato nel Comune di Siziano, in particolare nell'area produttiva localizzata a nord-est del centro abitato, in fregio alla Strada Provinciale n. 40 Melegnano-Binasco.

L'intervento prevede la realizzazione di due nuovi data center, identificati come **MIL07** e **MIL08A**, che si aggiungono alle unità esistenti **MIL01**, **MIL02** e **MIL03** e all'unità **MIL08B**, attualmente in fase di realizzazione. I nuovi edifici ospiteranno macchinari (server) e i relativi sistemi di supporto, quali impianti di ventilazione e condizionamento. All'esterno sono previsti generatori di emergenza per garantire la continuità dell'alimentazione elettrica in caso di interruzione della rete. Per quanto riguarda le accensioni in situazioni di emergenza, le emissioni di vibrazioni di tali generatori non rientrano nella presente valutazione, in analogia alle emissioni acustiche, le quali, in tali condizioni di funzionamento, non sono soggette a limiti normativi, come previsto dalle Linee Guida MASE D.D. VA n. 257 del 02/08/2024, punto iii) del paragrafo 2.10 "Rumore".

Lo scopo del presente studio è pertanto la verifica dei livelli previsti all'interno dei recettori potenzialmente influenzati dalle emissioni delle vibrazioni dell'impianto in esame, in ottemperanza a quanto proposto dalla UNI 9614:2017 e le eventuali misure di mitigazione realizzabili. Il presente studio ha, altresì lo scopo di valutare gli impatti potenziali dei cantieri relativi alla realizzazione dell'impianto e delle viabilità di accesso.

Questa relazione costituisce la valutazione dell'impatto vibrazionale dei nuovi impianti da installare sviluppata in riferimento alla UNI 9614:2017 "*Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo*". In particolare, si propone di:

- valutare i livelli di emissione delle vibrazioni generati durante la fase di esercizio del data center e di test dei generatori all'interno dei ricettori adiacenti all'area di studio;
- verificare l'eventuale conformità ai limiti delle vibrazioni previste dalla norma nazionale;
- valutare l'impatto delle vibrazioni in fase di cantiere.

La redazione del presente studio in ambito vibrazionale è stata curata dalla Dott.ssa Geol. Rebecca Mani.

# 2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Lo studio vibrazionale è stato sviluppato coerentemente a quanto prescritto dal quadro normativo vigente. Nel seguito si riporta l'elenco delle normative a carattere nazionale e di specifico interesse per la presente relazione.

## 2.1 Riferimenti legislativi

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n. 447/95, non esiste al momento alcuna legge che stabilisca limiti quantitativi per l'esposizione alle vibrazioni. Esistono invece numerose norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo in edifici interessati da fenomeni di vibrazione.

La caratterizzazione delle emissioni di vibrazioni da parte di veicoli non è soggetta alle stringenti normative e disposizioni legislative che normano invece l'emissione del rumore e sebbene le vibrazioni trasmesse agli edifici non siano state argomento di legiferazione da parte dello Stato italiano è tuttavia universalmente riconosciuta la competenza in materia da parte dell'UNI, ente preposto alla redazione della normativa tecnica in ambito nazionale.

L'UNI ha pubblicato negli anni una completa serie di norme (nazionali e/o recepimenti di norme internazionali) che coprono l'intera problematica delle vibrazioni negli edifici: la valutazione del disturbo alle persone, la valutazione del danno strutturale, l'implementazione della metodologia di misura ecc.

In particolare, le norme di interesse per il presente studio di impatto sono:

- Norma UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- Norma UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- Norma UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".

Nella UNI 9614:1990 è definito il metodo di misura delle vibrazioni di livello costante immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. La norma concorda parzialmente con la norma internazionale ISO 2631/2. La UNI 9614:1990 ha subito una revisione nel 2017. La UNI 9614:2017 imposta un approccio profondamente diverso nella modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione. Per tale motivo, considerando il nuovo approccio proposto dalla revisione del 2017, la valutazione del modello di propagazione sarà eseguita in riferimento alla UNI 9614:2017.

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratori per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Vi sono, inoltre, norme internazionali di riferimento, fra cui:

- ISO 8041 Human response to vibration – Measuring instrumentation;
- ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;

- ISO 2631-2, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuos and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni;
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983;
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975;
- DIN 4150-2, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975;
- DIN 4150-3, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

Per quanto riguarda il disturbo alle persone, i principali riferimenti sono costituiti dalla norma ISO 2631 / Parte 2 "Evaluation of human exposure to whole body vibration / "Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz)". La norma assume particolare rilevanza pratica poiché ad essa fanno riferimento le norme tecniche per la redazione degli Studi di Impatto Ambientale relativi alla componente ambientale "Vibrazioni", contenute prima nel D.P.C.M. 27/12/1988 e a seguito della sua abrogazione nel 2017, dall'Allegato VII alla Parte Seconda del D.Lgs. n. 152/2006 che lo ha sostituito. Ad essa, seppur con alcune non trascurabili differenze, fa riferimento la norma UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

Di seguito si fornisce una breve sintesi dei contenuti essenziali delle norme più rilevanti utilizzate per la valutazione dell'impatto da vibrazioni.

### *2.1.1 ISO 2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni"*

La ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz e il parametro di valutazione è il valore efficace dell'accelerazione $a_{rms}$ definito come:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T a^2(t)\,dt}$$

dove a(t) è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione. La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X, Y e alla combinazione dei tre assi. L'Annex A della ISO 2631-2 (che non rappresenta peraltro parte integrante della norma) fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni; in pratica sono riportati i fattori di moltiplicazione da applicare alle curve base delle accelerazioni e delle velocità al variare del periodo di riferimento (giorno e notte), del tipo di vibrazione (vibrazioni continue o intermittenti, vibrazioni transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie). Le vibrazioni devono essere misurate nel "punto di ingresso" nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può

essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

### *2.1.2 UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"*

La UNI 9614:1990 "Vibrazioni - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" considera i diversi tipi di sollecitazione vibratoria: livelli costanti, non costanti, impulsivi. La norma definisce metodologia di misura e analisi del segnale al fine di quantificare il disturbo da vibrazioni verso le persone. La vibrazione viene espressa attraverso il concetto di accelerazione:

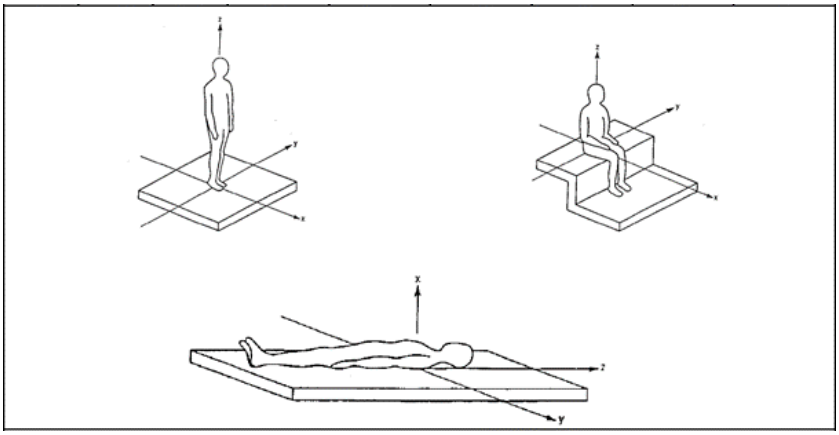
$$a = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a(t)^2 \, dt}$$

o del suo equivalente livello di accelerazione (espressione in dB dell'accelerazione espressa in m/s$^2$):

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg\left[\frac{a}{a_0}\right] \qquad a_0 = 10^{-6} \, m/s^2$$

Nella definizione di accelerazione ponderata $a_w$ prevista dalla norma (che prevede una pesatura in frequenza in funzione della direzione della vibrazione) si fa riferimento al seguente schema.

| Frequenza [Hz] | | | Ponderazione per le Accelerazioni [dB] | | | Ponderazione per le Velocità [dB] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| centrale | Estremo inferiore | Estremo superiore | Postura Longitudinale (asse z) | Postura Trasversale (asse x-y) | Postura non nota o Variabile | Postura Longitudinale (asse z) | Postura Trasversale (asse x-y) | Postura non nota o Variabile |
| 1.00 | 0.89 | 1.12 | -6.0 | 0.0 | 0.0 | -24.0 | -6.0 | -15.0 |
| 1.25 | 1.12 | 1.41 | -5.0 | 0.0 | 0.0 | -21.0 | -4.0 | -13.0 |
| 1.60 | 1.41 | 1.78 | -4.0 | 0.0 | 0.0 | -18.0 | -2.0 | -11.0 |
| 2.00 | 1.78 | 2.24 | -3.0 | 0.0 | 0.0 | -15.0 | 0.0 | -9.0 |
| 2.50 | 2.24 | 2.82 | -2.0 | -2.0 | -0.5 | -12.0 | 0.0 | -7.5 |
| 3.15 | 2.82 | 3.55 | -1.0 | -4.0 | -1.0 | -9.0 | 0.0 | -6.0 |
| 4.00 | 3.55 | 4.47 | 0.0 | -6.0 | -1.5 | -6.0 | 0.0 | -4.5 |
| 5.00 | 4.47 | 5.62 | 0.0 | -8.0 | -2.0 | -4.0 | 0.0 | -3.0 |
| 6.30 | 5.62 | 7.08 | 0.0 | -10.0 | -2.5 | -2.0 | 0.0 | -1.5 |
| 8.00 | 7.08 | 8.91 | 0.0 | -12.0 | -3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10.00 | 8.91 | 11.22 | -2.0 | -14.0 | -5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 12.50 | 11.22 | 14.13 | -4.0 | -16.0 | -7.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 16.00 | 14.13 | 17.78 | -6.0 | -18.0 | -9.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 20.00 | 17.78 | 22.39 | -8.0 | -20.0 | -11.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 25.00 | 22.39 | 28.18 | -10.0 | -22.0 | -13.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 31.50 | 28.19 | 35.48 | -12.0 | -24.0 | -15.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 40.00 | 35.48 | 44.67 | -14.0 | -26.0 | -17.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 50.00 | 44.67 | 56.23 | -16.0 | -28.0 | -19.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 63.00 | 56.24 | 70.79 | -18.0 | -30.0 | -21.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 80.00 | 70.80 | 89.12 | -20.0 | -32.0 | -23.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |



I valori limite sono differenziati per tipologia insediativa, per tipo di segnale (durata, caratteristiche) e per asse di sollecitazione. Per valori di sollecitazione vibratoria costante e non costante (dove per quest'ultima viene richiesta un'integrazione dei valori misurati), i valori limite sono riportati nella seguente tabella.

| Classe | Destinazione d'uso del territorio | Livello $L_{eff}$ [dB] (°) | | | Accelerazione $A_{eff}$ [mm/s²] | | | Velocità $V_{eff}$ [μm/s] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L (z) | T (x-y) | V (x-y-z) | L (z) | T (x-y) | V (x-y-z) | L (z) | T (x-y) | V (x-y-z) |
| I | Aree critiche (1) | 74 | 71 | 71 | 5,0 | 3,6 | 3,6 | 100 | 280 | 100 |
| II | Abitazioni (notte) | 77 | 74 | 74 | 7,0 | 5,0 | 5,0 | 140 | 400 | 140 |
| III | Abitazioni (giorno) | 80 | 77 | 77 | 10,0 | 7,2 | 7,2 | 200 | 560 | 200 |
| IV | Uffici | 86 | 83 | 83 | 20,0 | 14,4 | 14,4 | 400 | 1.100 | 400 |
| V | Fabbriche | 92 | 89 | 89 | 40,0 | 28,8 | 28,8 | 800 | 2.200 | 800 |

L componente longitudinale (riferita alla spina dorsale dell'uomo) .....(Asse z)
T componente trasversale (riferita alla spina dorale dell'uomo) .....(Assi x-y)
V nel caso di postura variabile o non nota .....(Assi x-y-z)
(°) 0 dB ≅ 1 μm/s² ($10^{-6}$ m/s²)

*(1) Per aree critiche si intendono edifici particolarmente sensibili alle vibrazioni, quali ad es. laboratori metrologici, fabbricati industriali contenenti apparecchiature sensibili alle vibrazioni (microscopi elettronici…).*

La UNI 9614:1990 definisce tre tipologie di segnali vibratori:

- vibrazioni di livello costante;
- vibrazioni di livello non costante;
- vibrazioni impulsive.

Il segnale vibratorio prodotto dalle vibrazioni stradali può essere considerato come una vibrazione di livello non costante e dunque per tale tipologia di segnale la valutazione deve avvenire su un "intervallo di tempo rappresentativo" dell'evento (app. A.2 norma UNI 9614).

Su tale intervallo è possibile effettuare due tipi di valutazioni: nel caso in cui si scelga un approccio maggiormente cautelativo si può operare sul massimo valore raggiunto durante l'evento del transito, mentre in alternativa si può lavorare sul concetto di media energetica sulla durata dell'evento.

In generale, la valutazione delle vibrazioni negli studi, sono eseguite sul valore medio del valore efficace (RMS) della vibrazione su un intervallo equivalente alla durata dell'evento di transito.

Per quanto riguarda la direzione del rilievo la norma UNI 9614 prescrive di eseguire i rilievi "lungo i tre assi ortogonali o secondo l'asse lungo il quale le vibrazioni sono più elevate". Negli studi è considerata la seconda ipotesi, di applicare la ponderazione asse Z all'asse verticale e la ponderazione X-Y per gli assi orizzontali. I limiti applicabili saranno pertanto:

| Direzione Asse | Soglia di percezione Law (dB) | Limite di accettabilità per abitazioni Law (dB) | Limite di accettabilità per uffici Law (dB) |
|---|---|---|---|
| Asse Z | 74 | 77 | 86 |
| Assi X-Y | 71 | 74 | 83 |

In riferimento alla UNI 9614:2017, essendo essa presa a rifermento nello studio, si riporta di seguito la descrizione dettagliata della norma.

Nel settembre 2017, dopo una lunga fase preparatoria, è stato emanato l'aggiornamento della norma UNI 9614:1990. L'aggiornamento si è reso necessario per mettere a punto un approccio più moderno alla valutazione del disturbo da vibrazioni e per tenere conto dei progressi delle tecniche di misura e della normativa internazionale vigente.

La norma, come già illustrato, riguarda il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici ed i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi. La nuova versione della norma modifica in modo sostanziale la vecchia, introducendo un approccio innovativo per le modalità di valutazione dei disturbi da vibrazioni, facendo riferimento alla norma ISO 2631.2:2003 per i metodi di misura e valutazione, ed alla norma norvegese NS 8176.E.

La norma è applicabile a tutti i fenomeni che possono originare vibrazioni negli edifici, come, ad esempio, traffico su gomma o su rotaia, attività industriali o di specifici macchinari, attività di cantiere, esplosioni, ecc.; non è invece applicabile a vibrazioni derivanti da fenomeni sismici, alla valutazione di danni strutturali, architettonici o "cosmetici" agli edifici, per la quale esistono altre norme di riferimento, all'esame di problematiche connesse all'igiene sul lavoro, o alle attività di manutenzione preventiva/predittiva di macchinari o di influenza su strumenti particolarmente sensibili. Non si applica inoltre a casi di frequenze vibrazionali inferiori al terzo di banda d'ottava centrato a 1 Hz.

Anzitutto la nuova norma 9614:2017 distingue i tipi di sorgenti in base a:

- posizione: interna o esterna agli edifici;
- funzione: per sorgenti legate ad "attività essenziali" di pubblico servizio, per le quali un'eventuale disattivazione potrebbe generare un'interruzione di pubblico servizio con danni a persone, cose o attività, possibili pericoli o problemi di ordine pubblico, ecc. (ospedali, gasdotti, elettrodotti, acquedotti, ecc.); per sorgenti legate ad "attività non interrompibili", per le quali non è possibile, a meno di interventi di manutenzione programmata o straordinaria, interrompere in tempi rapidi l'attività senza produrre danni o pericoli o alterazioni di prodotto (sorgenti industriali e/o a ciclo

continuo, impianti di produzione/distribuzione di energia, sistemi di trasporto pubblico); per sorgenti "di altra natura";

- caratteristiche di durata delle vibrazioni prodotte: per sorgenti continue o semi-continue (impianti industriali); per sorgenti intermittenti presenti per gran parte della giornata (strade, metropolitane, ferrovie); per sorgenti intermittenti presenti per una parte limitata della giornata (ascensori interni a un edificio); per sorgenti temporanee presenti per gran parte della giornata (cantieri); per sorgenti temporanee presenti per una parte limitata del giorno.

La classificazione di cui sopra viene proposta come descrittore univoco per l'identificazione dei fenomeni.

Le misure devono essere eseguite dopo un'analisi accurata dei fenomeni osservati, condotta sulla base degli aspetti legati alla tipologia di sorgente e di edificio ed alle posizioni dei recettori e relativi tempi di permanenza.

La grandezza cinematica di riferimento rappresentativa del disturbo è individuata nell'accelerazione assoluta, che necessita di una misura diretta per mezzo di sensori accelerometrici, con misura simultanea sui tre assi ortogonali di riferimento per la struttura dell'edificio o del corpo umano (per convenzione: asse Z verticale).

Le postazioni di misura vanno individuate sulla base delle reali condizioni di utilizzo degli ambienti da parte degli abitanti, escludendo quindi eventuali ambienti di servizio (ripostigli, servizi igienici, cantine, solai, corridoi, giardini, vie di accesso, balconi/terrazzi, scale, pianerottoli e ambienti non abitabili secondo le vigenti normative indipendentemente dal loro reale uso). Le misure per la valutazione del disturbo alla persona vanno eseguite, in generale, sui pavimenti o, in subordine, su elementi strutturali che possono essere a diretto contatto con il corpo umano durante la normale attività all'interno dell'ambiente o su superfici di appoggio per mobili utilizzati per il riposo, ma non su soffitti, controsoffitti, mensole, vetrate, suppellettili, mobili, letti e arredi in generale. Vanno anche evitate posizioni di misura su superfici a scarsa aderenza con le strutture (piastrelle non aderenti al massetto), morbide e/o cedevoli (tappeti, moquette, ecc.) o per le quali l'ampiezza delle vibrazioni può derivare anche da cattivo stato di manutenzione. Ovviamente i punti di misura devono essere individuati nei punti ove si rileva il più elevato dei valori efficaci di accelerazione ponderata aw(t), ma lontano da eventuali punti singolari. La seguente figura mostra alcune possibili individuazioni di punti di misura adeguati o non adeguati alle valutazioni oggetto della norma in esame.

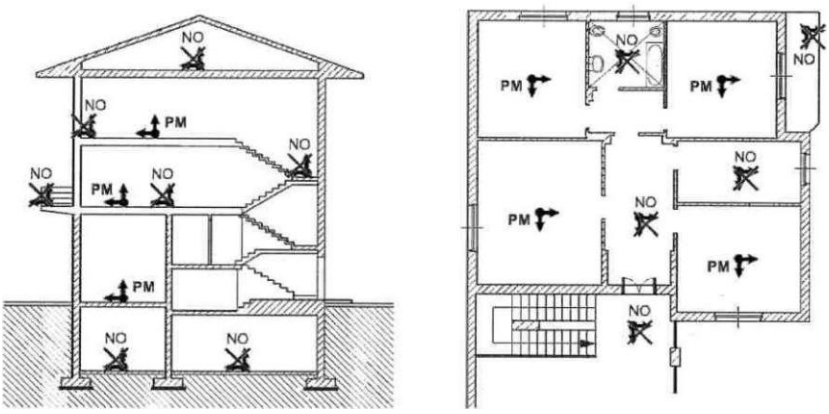



*Figura 2-1 - Individuazione corretta e non corretta dei punti di misura*

La durata complessiva delle misure dipende dal numero di eventi necessario ad assicurare una ragionevole accuratezza statistica delle misure, tenendo conto sia della variabilità della sorgente che della natura dell'ambiente di misura. Se l'esposizione è prodotta da fenomeni di diverso tipo presenti in diversi periodi, è necessario procedere con un'analisi separata per ciascun periodo. L'appendice A della norma fornisce criteri generali per l'individuazione degli eventi da prendere in considerazione nel caso di fenomeni connessi a traffico tramviario o stradale, attività di cantiere, sorgenti industriali, attività umane dirette e vibrazioni stazionarie ed ergodiche. Per le misure, resta comunque fondamentale la verifica dell'effettiva ed esaustiva rappresentatività della situazione in esame.

La norma fornisce comunque indicazioni generali sul numero minimo consigliato di eventi da prendere in considerazione per i singoli casi:

- per fenomeni caratterizzati da un elevato numero di eventi distinti: almeno 15 eventi;
- per fenomeni generati da attività umane dirette con eventi distinguibili: almeno 25 eventi;
- per fenomeni stazionari, ergodici o assimilabili che non danno luogo ad eventi distinti (attività industriali o attività umane dirette con eventi non facilmente distinguibili): almeno 25 eventi;
- per fenomeni caratterizzati da un ridotto numero di eventi si possono eseguire misurazioni anche in giorni diversi per acquisire complessivamente i segnali relativi ad almeno 5 eventi;
- gli eventi molto rari (indicativamente con occorrenza inferiore a un evento ogni due settimane) sono considerati "non disturbanti" ai fini della UNI 9614:2017, in virtù della loro scarsa incidenza temporale.

Per la determinazione del presunto disturbo vibrazionale generato da una specifica sorgente devono essere misurate sia le vibrazioni immesse che quelle residue. Le vibrazioni residue vanno misurate nello stesso punto e con le stesse modalità e criteri utilizzati per le vibrazioni immesse, considerando ricomprese nella componente residua le vibrazioni eventualmente rilevate in ambiente lavorativo e connesse all'attività produttiva o agli impianti al suo servizio.

Nel caso di sorgenti continue classificabili come attività essenziali di pubblico servizio, non è ovviamente possibile la misura delle vibrazioni residue, rendendo accettabile la misura delle sole vibrazioni immesse, ma mantenendo la possibilità di eseguire rilievi di vibrazioni residue in occasione di fermi per manutenzioni programmate o nel corso di fasi di ridotta attività, al fine di ottenere almeno una stima della componente vibrazionale residua. Per le attività non interrompibili, ma non essenziali, la misura delle vibrazioni residue è invece richiesta mediante una disattivazione programmata delle sorgenti, previa una valutazione preliminare cautelativa della significatività delle vibrazioni residue stesse e del loro peso rispetto alle vibrazioni immesse. Per sorgenti semi-continue, intermittenti o temporanee la misura delle vibrazioni residue è invece obbligatoria.

La strumentazione da utilizzare per la valutazione del disturbo da vibrazioni deve permettere, oltre che l'acquisizione e la registrazione del segnale accelerometrico, anche l'elaborazione in linea dei dati. È accettato anche l'uso di sistemi di acquisizione dati con memorizzazione digitale della storia temporale accelerometrica

con successiva post elaborazione off-line mediante specifico software, dandone esplicita indicazione, rispondente comunque alle caratteristiche di analisi richieste dalla UNI EN ISO 8041-1.

Le caratteristiche metrologiche della catena di misura (curva di risposta in frequenza, dinamica del sistema di acquisizione, rumore di fondo, filtri "band limiting", ponderazione Wm, ecc.) devono essere conformi alla UNI EN ISO 8041-1.

In particolare, si devono rispettare i seguenti requisiti:

- sensibilità nominale non inferiore a 10mV/(m/s$^2$);
- risposta in frequenza della catena di misura, comprensiva dell'acquisizione, lineare con tolleranza ±5% da 0.5 Hz a 250 Hz;
- acquisizione digitale con frequenza di campionamento non minore di 1500 Hz, presenza di filtro anti-aliasing con frequenza non minore di 600 Hz, risoluzione preferenziale di 24 bit e minima di 16 bit;
- valore efficace del rumore strumentale, dovuto a fenomeni casuali e non dipendenti né dalle vibrazioni immesse né da quelle residue, almeno cinque volte inferiore al minimo valore efficace dei segnali da misurare.

Il montaggio degli accelerometri deve essere tale da garantire la trasmissione rigida del moto dal sistema vibrante all'accelerometro almeno della banda 0-500 Hz e deve essere eseguito facendo riferimento alla norma UNI ISO 5348 o secondo le indicazioni fornite dal produttore del sensore. Le modalità di installazione devono essere riportate nel rapporto di misura e devono essere scelte in relazione alle condizioni dei piani di posa, prevedendo eventualmente l'utilizzo, anche contemporaneo, di inserti/tasselli (meccanici o chimici) inseriti nel piano di posa, collaggi rigidi (mastici, resine, cera d'api), magneti, collegamenti bullonati o masse appoggiate isostaticamente sulle superfici alle quali è vincolato l'accelerometro (configurazione non concessa per superfici morbide o irregolari). Il corretto funzionamento della catena di misura deve essere verificato prima e dopo ogni misura mediante apposito calibratore a norma UNI EN ISO 8041-1; sono ammessi calibratori a frequenza fissa pari a 1000 rad/s ed ampiezza di 10m/s$^2$. Ogni tre anni l'intera catena di misura deve essere sottoposta a verifica di taratura.

La strumentazione di misura deve infine garantire l'acquisizione del segnale con riferimento alle specifiche di cui al punto 6 della norma UNI 11568:2015.

Per l'elaborazione delle misure ed il calcolo dei parametri del disturbo, la norma UNI 9614:2017 suggerisce un metodo sequenziale valido per tutti i tipi di sorgente e adeguato a coprire sia fenomeni di media e breve durata, sia fenomeni impulsivi caratterizzati da un fattore di cresta molto elevato.

L'elaborazione del segnale corrispondente ad ogni singolo evento monitorato comporta i seguenti passaggi:

1. filtraggio con filtro passa banda e con filtro di ponderazione: l'accelerazione rilevata sui tre assi $a_x(t)$, $a_y(t)$ e $a_z(t)$ viene preliminarmente filtrata con un filtro passa banda ("band limiting"), con specifiche funzioni di trasferimento (§ punto 8.1.1 della norma), al fine di selezionare le frequenze significative per la risposta del corpo umano al disturbo. Successivamente si applica un filtro di ponderazione in frequenza che utilizza la curva $W_m$ definita dalla ISO 2631-2, anch'esso con una specifica funzione di

trasferimento (§ punto 8.1.2 della norma). Al termine del procedimento di filtraggio si ottiene per il j-esimo asse, l'accelerazione ponderata $a_{wj}(t)$;

2. calcolo del valore efficace dell'accelerazione assiale ponderata: per l'intera storia temporale del segnale ponderato, viene calcolato, secondo quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 8041-1:2017 al punto D.1, l'andamento nel tempo del valore efficace dell'accelerazione ponderata, in riferimento a ciascun asse cartesiano, e per un intervallo di integrazione T = 1 s, secondo la seguente formulazione:

$$a_{w,rms,j}(t) = \left(\frac{1}{\tau}\ x \int_{t-\tau}^{t} a_{w,j}^2(\ t\ )\ x\ \ dt\ \right)$$

3. calcolo dell'accelerazione ponderata totale efficace: viene eseguito per combinazione (secondo UNI ISO 2631-1:1997, punto 6.5, con $k_x=k_y=k_z=1$), istante per istante, a partire dalle tre accelerazioni assiali ponderate calcolate in precedenza secondo la seguente relazione:

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,rms,x}^2(t) + a_{w,rms,y}^2(t) + a_{w,rms,z}^2(t)}$$

Le precedenti tre fasi di calcolo sono riassunte nella seguente figura.

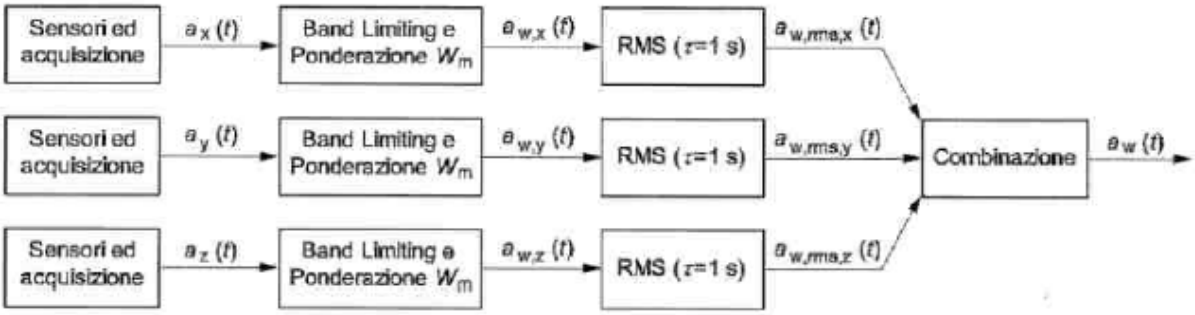



*Figura 2-2 - Schema di calcolo dell'accelerazione ponderata efficace secondo la UNI 9614:2017*

Dall'accelerazione ponderata efficace $a_w(t)$, si possono poi ottenere le seguenti grandezze:

a) massima accelerazione ponderata, definita come il massimo livello di accelerazione ponderata efficace all'interno del singolo evento j-esimo, ovvero:

$$a_{w,max,j} = \max\ (a_w(t))$$

b) massima accelerazione statistica $a_{w,95}$ data dalla seguente relazione:

$$a_{w,95} = \overline{a_{w,max}} + 1{,}8\ x\ \sigma$$

dove:

$\overline{a_{w,max}}$ è il valore medio della massima accelerazione ponderata calcolato come media aritmetica delle massime accelerazioni ponderate $a_{w,max,j}$ con j che rappresenta gli eventi considerati, ovvero:

$$\overline{a_{w,max}} = \frac{\sum_{j=1}^{N} a_{w,max,j}}{N}$$

s è lo scarto tipo della distribuzione delle massime accelerazioni ponderate $a_{w,max,j}$ calcolate mediante la seguente relazione:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N}\left(a_{w,max,j} - \overline{a_{w,max}}\right)^2}{N-1}}$$

Nel caso in cui non sia possibile misurare più di 5 eventi, non si ritiene attendibile $a_{w,95}$ così ottenuto, ed esso deve quindi essere stimato mediante la più elevata delle massime accelerazioni ponderate $a_{w,max,j}$ relative agli N eventi misurati.

Inoltre, è possibile determinare anche le vibrazioni associate ad una specifica sorgente ritenuta fonte di disturbo mediante l'accelerazione ponderata massima statistica della sorgente, $V_{sor}$, da calcolare a partire dall'accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni immesse, $V_{imm}$, e dall'accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni residue, $V_{res}$, secondo la seguente relazione:

$$V_{sor} = \sqrt{V_{imm}^2 - V_{res}^2}$$

Per la determinazione del vero valore del parametro $a_{w,95}$ si utilizza un procedimento di misure ripetute di vibrazioni su edifici, misure, per loro stessa natura, soggette, in generale, ad indeterminazione statistica derivante da incertezza strumentale, da quella relativa alla scelta delle postazioni di misura e da quella legata alla natura ed alle caratteristiche di variabilità del fenomeno in esame; dunque, anche $a_{w,95}$ sarà un parametro soggetto ad indeterminazione.

L'incertezza strumentale e quella legata alla scelta delle posizioni di misura sono ben caratterizzate nella UNI 9614:2017 e, per questo, sono in generale meno importanti dell'indeterminazione connessa alle specifiche caratteristiche del fenomeno vibratorio in esame. Di conseguenza le incertezze globali delle determinazioni sono influenzate principalmente dall'incertezza sulle caratteristiche del fenomeno e quindi dalla natura della sorgente, dalle modalità di generazione e di rilascio di energia vibrazionale e dalla proprietà fisico-meccaniche del mezzo entro il quale si propaga il fenomeno vibratorio, proprietà eventualmente anche variabili nel tempo.

In generale è quindi pressoché impossibile fornire indicazioni quantitative sull'incertezza del fenomeno vibratorio ed è quindi necessario valutare la dispersione dei dati mediante induzione motivata o esecuzione di misure in periodi diversi.

Ovviamente una significativa riduzione dell'indeterminazione può essere ottenuta con l'incremento del numero di eventi analizzati anche oltre le indicazioni fornite, in generale, dalla UNI 9614:2017 (punto 6.3).

Una volta determinato il parametro descrittore della vibrazione di una sorgente, $V_{sor}$, è possibile confrontare i suoi valori con specifici limiti di disturbo caratteristici di diversi tipi di ambienti e di diversi periodi della

giornata. Ad esempio, per ambienti ad uso abitativo, i limiti di riferimento massimi per la massima accelerazione ponderata della sorgente, $V_{sor}$, sono:

- periodo diurno: 7.2 mm/s$^2$;
- periodo notturno: 3.6 mm/s$^2$;
- periodo diurno di giornate festive: 5.4 mm/s$^2$;

Il seguente schema riepiloga i limiti di riferimento individuati dalla norma UNI 9614:2017 per particolari ambienti diversi da quello residenziale/abitativo.

- ambienti di lavoro (1) $V_{sor}$ = 14 mm/s$^2$;
- ospedali, case di cura ed affini (2) $V_{sor}$ = 2 mm/s$^2$;
- asili e case di riposo (3) $V_{sor}$ = 3,6 mm/s$^2$;
- scuole (4) $V_{sor}$ = 5,4 mm/s$^2$;

Note:

(1) limiti indicati fermi restando gli obblighi derivanti dalla protezione dei lavoratori ex D.Lgs. 81/08 e s.m.i, e riferendosi a vibrazioni immesse da sorgenti esterne e non connesse alle attività (le vibrazioni connesse alle attività produttive fanno parte della componente residua $V_{res}$);
(2) limiti validi indipendentemente dall'orario, per degenze ordinarie, e con misure effettuate al pavimento in corrispondenza del letto dei pazienti;
(3) limiti validi anche in orario diurno, limitatamente ai periodi effettivamente utilizzati per il riposo diurno (prime ore del pomeriggio);
(4) limiti validi per il periodo di effettivo utilizzo da parte degli allievi e limitatamente alle aule didattiche.

Nel caso in cui le vibrazioni residue, $V_{res}$, avessero un valore maggiore del 50% di quelle immesse, $V_{imm}$, il disturbo prodotto dalle vibrazioni della sorgente, $V_{sor}$, può essere ritenuto trascurabile.

Di seguito la tabella di sintesi dei limiti previsti dalla UNI 9614:2017.

| **Destinazione d'uso** | **Accelerazione Vettore $V_{sorg}$ (m/s$^2$)** |
|---|---|
| Abitazioni (periodo notturno dalle 22:00 alle 6:00) | $3,6 \times 10^{-3}$ |
| Abitazioni (periodo diurno dalle 6:00 alle 22:00) | $7,2 \times 10^{-3}$ |
| Abitazioni (periodo diurno festivo dalle 6:00 alle 22:00) | $5,4 \times 10^{-3}$ |
| Luoghi di lavoro | $14 \times 10^{-3}$ |
| Ospedali, case di cura e affini (indipendentemente dal periodo) | $2 \times 10^{-3}$ |
| Asili e case di riposo (valido anche nel periodo diurno in caso sia previsto il riposo delle persone) | $3,6 \times 10^{-3}$ |
| Scuole (nel periodo di utilizzo degli allievi e limitatamente alle aule usate) | $5,4 \times 10^{-3}$ |

*Tab. 2.1 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per la UNI 9614:2017*

### 2.1.3 UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3.

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratori allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.

La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio; tuttavia, le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio. L'Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Nell'ambito di questa classificazione, un sistema dinamico è costituito dal terreno e dallo strato di base (magrone) sul quale si trovano le fondazioni oltre che la struttura medesima dell'edificio.

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

- tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura, ecc.);
- gli edifici pubblici (municipi, chiese, ecc.);
- edifici vecchi ed antichi con un valore architettonico, archeologico e storico;
- le strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici abitativi.

La classificazione degli edifici (Prospetto III) è basata sulla loro resistenza strutturale alle vibrazioni oltre che sulla tolleranza degli effetti vibratori sugli edifici in ragione del loro valore architettonico, archeologico e storico. I fattori dai quali dipende la reazione di una struttura agli effetti delle vibrazioni sono:

- la categoria della struttura;
- le fondazioni;
- la natura del terreno.

La categoria di struttura (Prospetto II) è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici, edifici vecchi e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1) e edifici e strutture moderne (Gruppo 2). L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

Le fondazioni sono classificate in tre classi. La Classe A comprende fondazioni su pali legati in calcestruzzo armato e acciaio, platee rigide in calcestruzzo armato, pali di legno legati tra loro e muri di sostegno a gravità; la Classe B comprende pali non legati in calcestruzzo armato, fondazioni continue, pali e platee in legno; la Classe C infine comprende i muri di sostegno leggeri, le fondazioni massicce in pietra e la condizione di assenza di fondazioni, con muri appoggiati direttamente sul terreno.

Il terreno viene classificato in sei classi: rocce non fessurate o rocce molto solide, leggermente fessurate o sabbie cementate (Tipo a); terreni compattati a stratificazione orizzontale (Tipo b); terreni poco compattati a stratificazione orizzontale (Tipo c); piani inclinati, con superficie di scorrimento potenziale (Tipo d); terreni granulari, sabbie, ghiaie (senza coesione) e argille coesive sature (Tipo e) e materiale di riporto (Tipo f).

L'Appendice B della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli delle vibrazioni con riferimento alla DIN 4150 e al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 gennaio 1986 "Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica." La parte 3 della DIN 4150 indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie:

- sull'edificio (nel suo complesso);
- sui pavimenti: v < 20 mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione e le velocità massime ammissibili per vibrazioni stazionarie;
- sull'edificio (nel suo complesso): v < 5 mm/s in direzione orizzontale sull'ultimo piano;
- sui pavimenti: v < 10 mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco. Essa è ricavabile dalla velocità massima r.m.s. attraverso la moltiplicazione di quest'ultima con il fattore di cresta F. Tale parametro esprime il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace. Per onde sinusoidali si assume F = 1.41; in altri casi si possono assumere valori maggiori. Nei casi più critici (ed es. esplosioni di mina) F può raggiungere il valore 6. La ISO 4866 fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo tre livelli:

- Danno di soglia: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre, formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di 4÷50 mm/s, e per vibrazioni continue, con velocità 2÷5 mm/s.
- Danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazionale compreso tra 20÷100 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 3÷10 mm/s.
- Danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

In considerazione dei valori nettamente inferiori dei limiti previsti della norma UNI 9614:2017 rispetto a quelli della norma UNI 9916:2014, si considera nella presente valutazione, che il rispetto dei limiti della norma UNI 9614:2017 implichi il conseguente rispetto anche dei limiti della norma UNI 9916:2014.

## 2.2 Linee Guida MASE D.D. VA n. 257 del 02/08/2024

Con **Decreto n. 257 del 02/08/2024** della Direzione Generale Valutazioni Ambientali, sono state adottare le Linee guida redatte dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA e VAS, tese a indirizzare in modo specifico le istanze relative alla particolare tipologia di opere consistenti nei Data Center assistiti da gruppi elettrogeni di emergenza con potenza superiore complessivamente a 50 MWt.

L'obiettivo posto è stato di definire i principali aspetti in ordine a progetti di Data Center soggetti a valutazione ambientale, descrivendo le metodologie applicabili e chiarendo le modalità di adempimento degli obblighi previsti dalla normativa di settore.

## 2.3 Riferimenti bibliografici

Al fine della redazione del presente studio, per le assunzioni e comprovare le ipotesi tecniche assunte sono state prese in considerazione, oltre la corrente normativa tecnica richiamata, la seguente bibliografia:


- Angelo Farina – "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali - Normativa, tecniche di misura e di calcolo" - Rivista Neo-EUBIOS, n. 16. Maggio 2006 - ISSN 1825-5515.
- Lamberto Tronchin, Angelo Farina, Valerio Tarabusi – "Studio di impatto acustico e vibrazionale nella realizzazione di infrastrutture viarie e ferroviarie" - 31° Convegno Nazionale AIA, Venezia, 5-7 Maggio 2004.
- Raffaele Pisani – "Origine, propagazione e modelli previsionali delle vibrazioni dei mezzi di trasporto", Convegno Nazionale Traffico e Ambiente Trento, 21 25 febbraio 2000.
- Hal Amick and Michael Gendreau (2000) – "Construction Vibrations and Their Impact on Vibration-Sensitive Facilities" - Colin Gordon & Associates, San Mateo, California 94402.
- Hal Amick, Colin Gordon & Associates (1999), "A Frequency-Dependent Soil Propagation Model" - Presented at SPIE Conference on Current Developments in Vibration Control for Optomechanical Systems - Denver, Colorado, July 20, 1999 San Mateo, California USA.
- Dong-Soo Kim, Jin-Sun Lee1 (1999), "Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations" - Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon – pp 305-701

- Ishihara, K. (1996). "Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics.", Oxford Science Publications, Oxford, UK, pp. 350.
- Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici – 1 ottobre 1992 di E. Carrara (Autore), Antonio Rapolla (Autore), N. Roberti (Autore)
- Aki, K., and Richards, P.G. (1980). "Quantitative Seismology: Theory and Methods.", W.H. Freeman and Company, San Francisco, 932 pp.
- Ohta, Y. and N. Goto. (1978), Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 6:167-187.

# 3 INQUADRAMENTO DELL'AREA

## 3.1 Inquadramento territoriale

L'area interessata dall'intervento edificatorio si trova in corrispondenza della porzione periferica esterna verso Nord-Est rispetto all'abitato di Siziano (PV), più precisamente in fregio alla Strada Provinciale n.40 Melegnano-Binasco, in una zona caratterizzata da insediamenti di carattere prevalentemente artigianale-industriale.

Il Comune di Siziano è situato nella porzione nord-orientale della Provincia di Pavia, al confine con la Città Metropolitana di Milano, nel contesto della pianura lombarda. Il territorio comunale si estende per 11,79 km² e si colloca in una posizione strategica lungo l'asse di collegamento tra l'area metropolitana milanese e il territorio pavese, a circa 15 km da Milano e 17 km da Pavia. La vicinanza alle principali infrastrutture viarie conferisce al comune un ruolo di cerniera tra il sistema urbano metropolitano e il territorio della provincia di Pavia, favorendo l'insediamento di attività produttive e artigianali.

Confini comunali:

- Nord: Locate di Triulzi e Opera (territorio caratterizzato dalla presenza di aree agricole, insediamenti residenziali e comparti produttivi connessi all'area metropolitana milanese);
- Est: Lacchiarella (prevalenza di aree agricole con nuclei residenziali e attività produttive);
- Sud: Landriano (contesto a prevalente vocazione agricola con presenza di insediamenti produttivi e residenziali);
- Ovest: Vidigulfo e Pieve Emanuele (aree agricole intervallate da insediamenti residenziali, produttivi e infrastrutture viarie).

Il territorio in oggetto è principalmente agricolo (seminativi semplici e risaie tipiche della Pianura Padana), con presenza moderata di insediamenti industriali, artigianali e commerciali. L'urbanizzazione residenziale è discontinua e limitata ai centri abitati.

Di seguito è riportata la localizzazione dell'area di intervento rispetto alle città di Milano e Pavia:

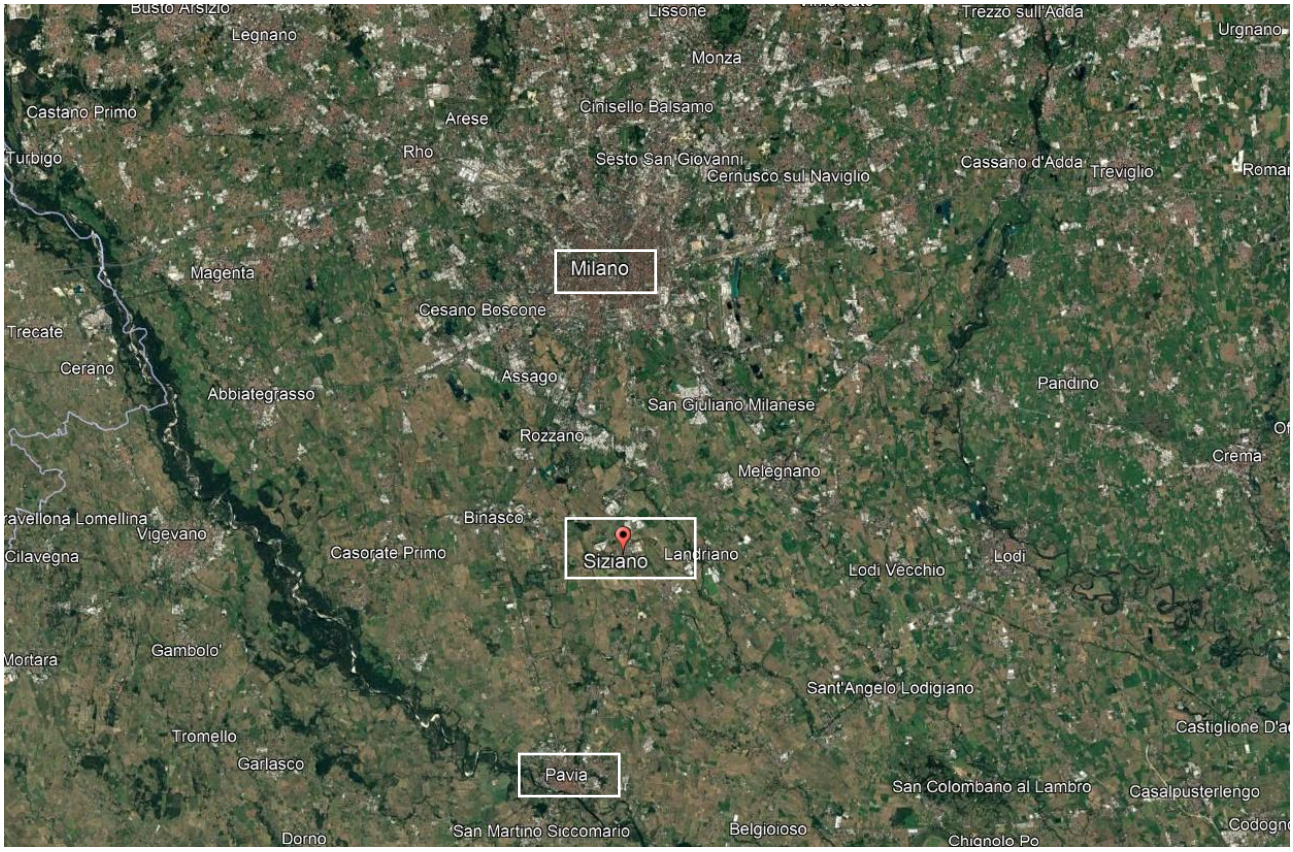



*Figura 3-1 - Area di intervento in relazione alle città di Milano e di Pavia*

Da un punto di vista dell'uso del suolo su scala territoriale ampia, l'area oggetto dell'intervento è prevalentemente agricola, caratterizzata da "seminativi semplici" e "risaie", elementi tipici della Pianura Padana. È inoltre presente una moderata concentrazione di insediamenti industriali, artigianali e commerciali.

Per quanto riguarda l'urbanizzazione residenziale, essa è costituita da agglomerati discontinui, limitati ai centri abitati dei comuni.

Di seguito è riportato l'inquadramento territoriale dell'area di intervento:

*Figura 3-2 - Quadro territoriale dell'area di intervento*

## 3.2 Individuazione dei ricettori

Ai fini della presente analisi sono stati individuati i ricettori ubicati nell'immediato intorno dei MIL (Massimi Impatti Locali), ritenuti rappresentativi delle principali destinazioni d'uso presenti nell'area di studio. I ricettori considerati comprendono edifici con destinazione d'uso produttiva-commerciale e ricettori con destinazione d'uso residenziale.

Di seguito si riporta l'inquadramento territoriale dell'area oggetto di analisi, con l'indicazione della localizzazione dei ricettori e della relativa tipologia d'uso.

*Figura 3-3 - Localizzazione dei recettori nell'area*

## 3.3 Contesto geologico

Al fine di definire il contesto geologico per la valutazione delle vibrazioni, sia in fase di realizzazione dell'impianto sia in fase di esercizio, si riporta di seguito un estratto degli approfondimenti derivanti dagli studi geologici dell'area di intervento.

### 3.3.1 Inquadramento geologico e geomorfologico di area vasta

L'area oggetto di interesse è rappresentata nel Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

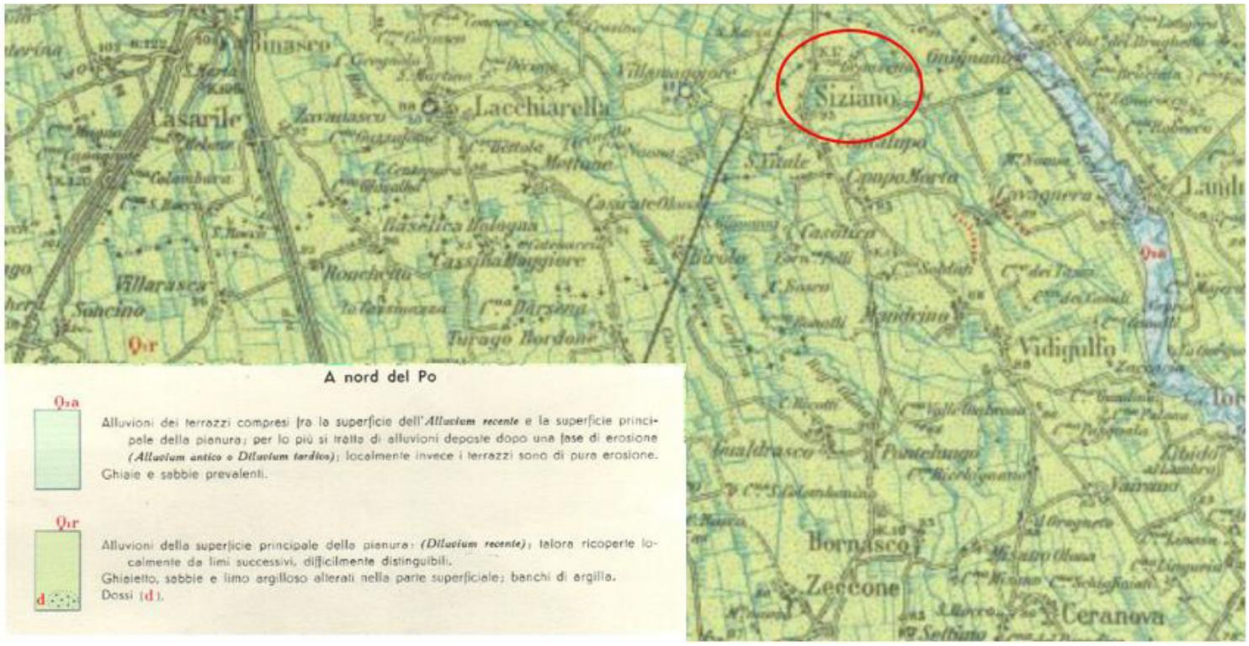



*Figura 3-4 – Estratto della "Carta Geologica D'Italia" Foglio n.59 Pavia (in rosso è indicato il sito)*

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio comunale di Siziano ricade all'interno dell'ampia superficie del Livello Fondamentale della Pianura Padana, costituita da depositi fluvioglaciali e fluviali deposti nel corso dell'ultima fase glaciale del Pleistocene Superiore. L'assetto morfologico è quello tipico della media pianura lombarda, caratterizzato da superfici subpianeggianti che degradano debolmente verso sud-est e la cui evoluzione postglaciale è stata prevalentemente controllata dai processi fluviali.

### *3.3.2 Caratterizzazione geologica e litostratigrafica del sito*

Secondo la Carta Geomorfologica del PGT del Comune di Siziano, l'area di intervento ricade nella Media pianura idromorfa, con quote comprese tra circa 91 e 92 m s.l.m..

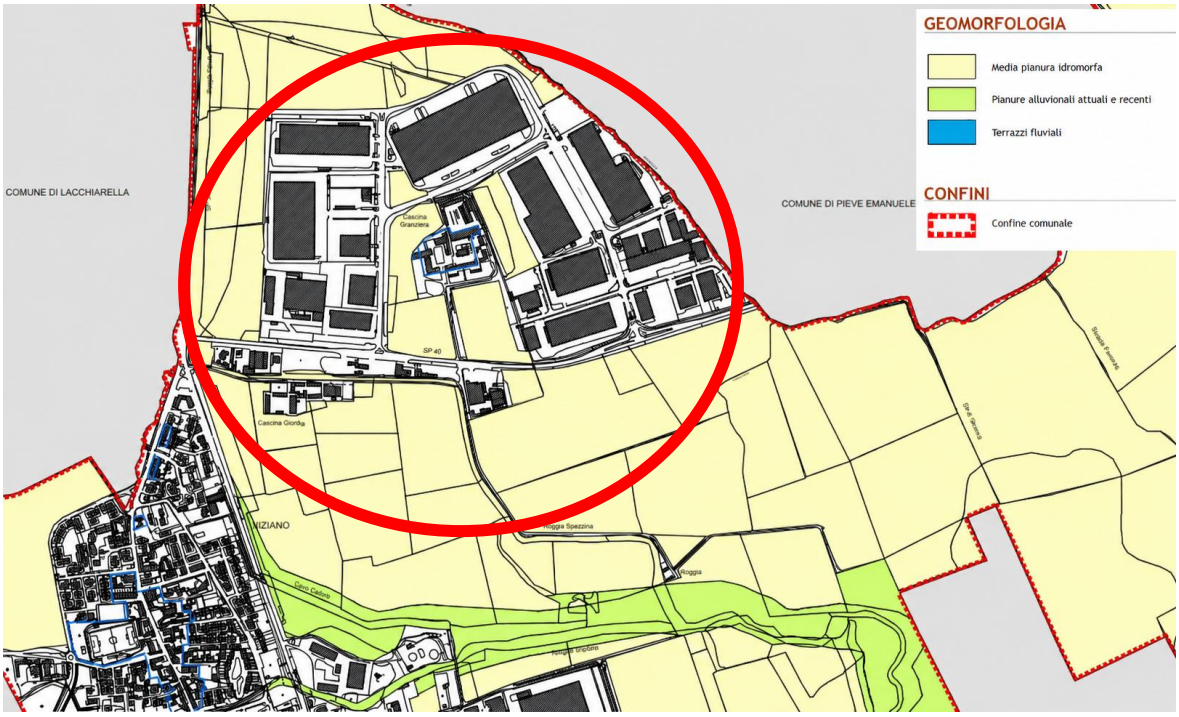



*Figura 3-5 –Estratto Tav.1 "Carta geomorfologica" scala 1:5.000 PGT del Comune di Siziano (in rosso è indicato il sito di interesse)*

Dal punto di vista litologico, la Carta Litologica del PGT individua il sito all'interno di un'unità costituita da sabbie poco gradate con limo e ghiaia e ghiaie ben gradate con sabbia, tipica dei depositi fluvioglaciali del Livello Fondamentale della Pianura.

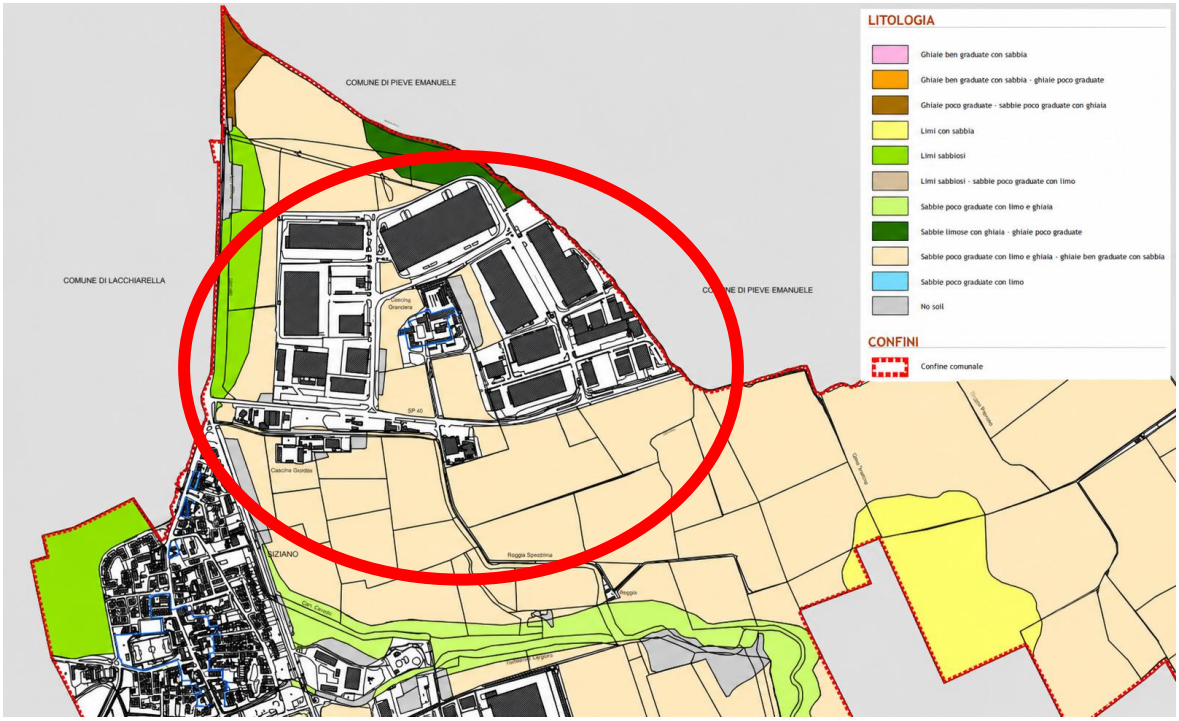



*Figura 3-6 –Estratto "Carta litologica" scala 1:5.000 PGT del Comune di Siziano (in rosso è indicato il sito di interesse)*

Il territorio comunale si inserisce nel contesto geologico evolutivo della Pianura Padana, caratterizzato dall'alternanza di fasi glaciali e interglaciali che, nel corso del Pleistocene, hanno determinato la formazione e la successiva rielaborazione dei depositi alluvionali. Il sito si colloca pertanto in un contesto di pianura alluvionale recente, riconducibile ai depositi dell'ultima fase glaciale (Würm) e delle successive fasi postglaciali.

La caratterizzazione del sottosuolo è stata integrata mediante l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche statiche, che hanno consentito di completare e affinare la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico locale.

Le indagini evidenziano una moderata variabilità laterale dei depositi superficiali, attribuibile ai processi di erosione e sedimentazione che hanno interessato il vicino fiume Lambro. Tale variabilità interessa principalmente i primi metri di profondità, mentre oltre circa 10 m dal piano campagna la successione litostratigrafica risulta sostanzialmente omogenea in tutte le verticali investigate.

Nel complesso, il sottosuolo è costituito da livelli superficiali di sabbie limose e limi sabbiosi, con spessori variabili in funzione della posizione delle verticali di indagine. Localmente è stata individuata una limitata lente di argille limose/limi argillosi, riscontrata esclusivamente in una delle verticali investigate.

A partire da circa 10 m di profondità prevalgono sabbie addensate, cui seguono livelli costituiti da alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose, fino alle profondità massime indagate.

### *3.3.3 Caratterizzazione del terreno ai fini della modellazione vibrazionale*

Per la valutazione previsionale in fase di esercizio, in considerazione dell'area di intervento e delle caratteristiche litostratigrafiche desunte dall'inquadramento geologico e dalle indagini di sito, il terreno può essere considerato rappresentativo di un contesto omogeneo dal punto di vista della risposta dinamica. Ne consegue che, ai fini della modellazione vibrazionale, la risposta del mezzo può essere assunta sostanzialmente uniforme nell'area di studio.

Per la valutazione previsionale in fase di cantiere, le aree interessate dalle opere civili, comprese le aree di cantiere fisso, le aree di lavorazione mobile, le zone limitrofe alle attività e i ricettori individuati nell'ambito dello studio, risultano impostate su terreni caratterizzati da depositi alluvionali e fluvioglaciali della pianura lombarda.

In particolare, tali terreni sono costituiti nei primi metri da alternanze di sabbie limose e limi sabbiosi, con locali livelli più fini, mentre a maggiore profondità prevalgono sabbie addensate, talora associate a livelli ghiaioso-sabbiosi. Nel complesso, il comportamento geomeccanico può essere ricondotto a terreni granulari da mediamente consistenti a addensati, tipici dei depositi di pianura a evoluzione fluviale.

In sintesi, sulla base dell'inquadramento geologico di area vasta e delle indagini di sito, l'area di intervento è impostata su depositi alluvionali e fluvioglaciali a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa, con coperture

superficiali a matrice più fine e livelli profondi più addensati. L'assetto stratigrafico, pur variabile nei primi metri, risulta nel complesso coerente con un contesto granulare tipico della media pianura idromorfa.

Ai fini della valutazione previsionale in fase di esercizio, il terreno può essere ritenuto assimilabile, in termini di risposta dinamica, a quello utilizzato per la caratterizzazione delle emissioni vibrazionali, assumendo quindi una risposta del mezzo sostanzialmente omogenea nell'area di indagine.

Per la valutazione previsionale in fase di cantiere, le aree interessate dalle attività, comprese le aree di cantiere fisso e mobile e le zone limitrofe ai ricettori, sono impostate su terreni a granulometria prevalentemente sabbioso-limosa e sabbioso-ghiaiosa, con comportamento meccanico riconducibile a depositi granulari mediamente consistenti e localmente addensati.

In termini modellistici, il terreno viene pertanto ricondotto a una tipologia mediamente consistente di tipo consolidato (Classe II con $\rho < 1{,}5\times10^{-4}$; categoria C con $c = 300$ m/s; $\eta = 0{,}04$), parametri assunti nella presente valutazione ai fini della simulazione della propagazione delle vibrazioni.

# 4 VALUTAZIONE DEL CLIMA VIBRAZIONALE ATTUALE

Al fine di determinare il livello di vibrazioni residuo presente nell'area oggetto di studio, nel mese di giugno 2026 la società Ambiente S.r.l. ha condotto una campagna di misurazioni. In particolare, è stato effettuato un rilevamento della durata di 24 ore presso un edificio facente parte di una cascina costituita da più fabbricati a uso residenziale e di servizi, identificata come ricettore R11.

La misura è stata eseguita all'interno di uno degli edifici destinati a servizi, individuato come punto di monitoraggio rappresentativo ai fini della caratterizzazione delle condizioni vibrazionali degli edifici residenziali prossimi all'area di intervento. Tale ricettore è stato selezionato in quanto appartenente al gruppo insediativo residenziale più vicino all'area di cantiere dei siti MIL07 e MIL08A in progetto.

Il punto di misura è inoltre considerato rappresentativo anche ai fini della valutazione in fase di esercizio, in quanto gli ulteriori gruppi residenziali presenti nell'intorno risultano localizzati a distanze analoghe rispetto ai diversi siti MIL previsti e pertanto esposti a condizioni vibrazionali comparabili.

## *4.1 Monitoraggio vibrazionale*

L'indagine vibrazionale ha permesso la definizione dell'attuale stato vibrazionale presso il ricettore individuato (R11) e ritenuto rappresentativo per il contesto territoriale in cui si colloca il progetto.

Le principali sorgenti di vibrazioni diffuse presenti nell'ambito di studio sono riconducibili alla viabilità a servizio degli insediamenti produttivi esistenti e alle relative attività produttive.

In particolare, si segnala la presenza di:

- Strada Provinciale n.40 Melegnano–Binasco, principale asse viario di collegamento dell'area;
- viabilità stradale locale a servizio dell'area industriale, caratterizzata da traffico leggero e mezzi pesanti connessi alle attività produttive e logistiche presenti.

Le attività insediate nel contesto sono prevalentemente riconducibili a comparti produttivi di tipo industriale, artigianale e di servizi, con presenza localizzata di attività agricole per la coltivazione.

I dettagli della campagna sono riportati di seguito:

*Tabella 4-1 - Dettaglio dei rilievi effettuati durante la campagna di misurazione del giugno 2026*

| Misura | Tipologia | Data | Ora Inizio | Ubicazione | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| VIB_01 | 24h | 16/06/2026 | 10:51 | Interno al ricettore R11 | caratterizzata dal traffico veicolare su SP 40 Melegnano–Binasco |

I risultati della campagna di misura sono riportati di seguito, sia in forma tabellare che grafica (storia temporale delle misure vibrometriche).

*Tabella 4-2 - Risultati monitoraggio vibrometrico presso ricettore R11*

| Misura | Data | Periodo | Vres mm/s² | Vsorg mm/s² |
|---|---|---|---|---|
| VIB_01 | 16/06/2025 | Diurno | 0,2 | 1,2 |
| | | Notturno | 0,2 | 1,1 |

L'ubicazione del punto di misurazione è illustrata nelle seguenti ortofoto e foto:

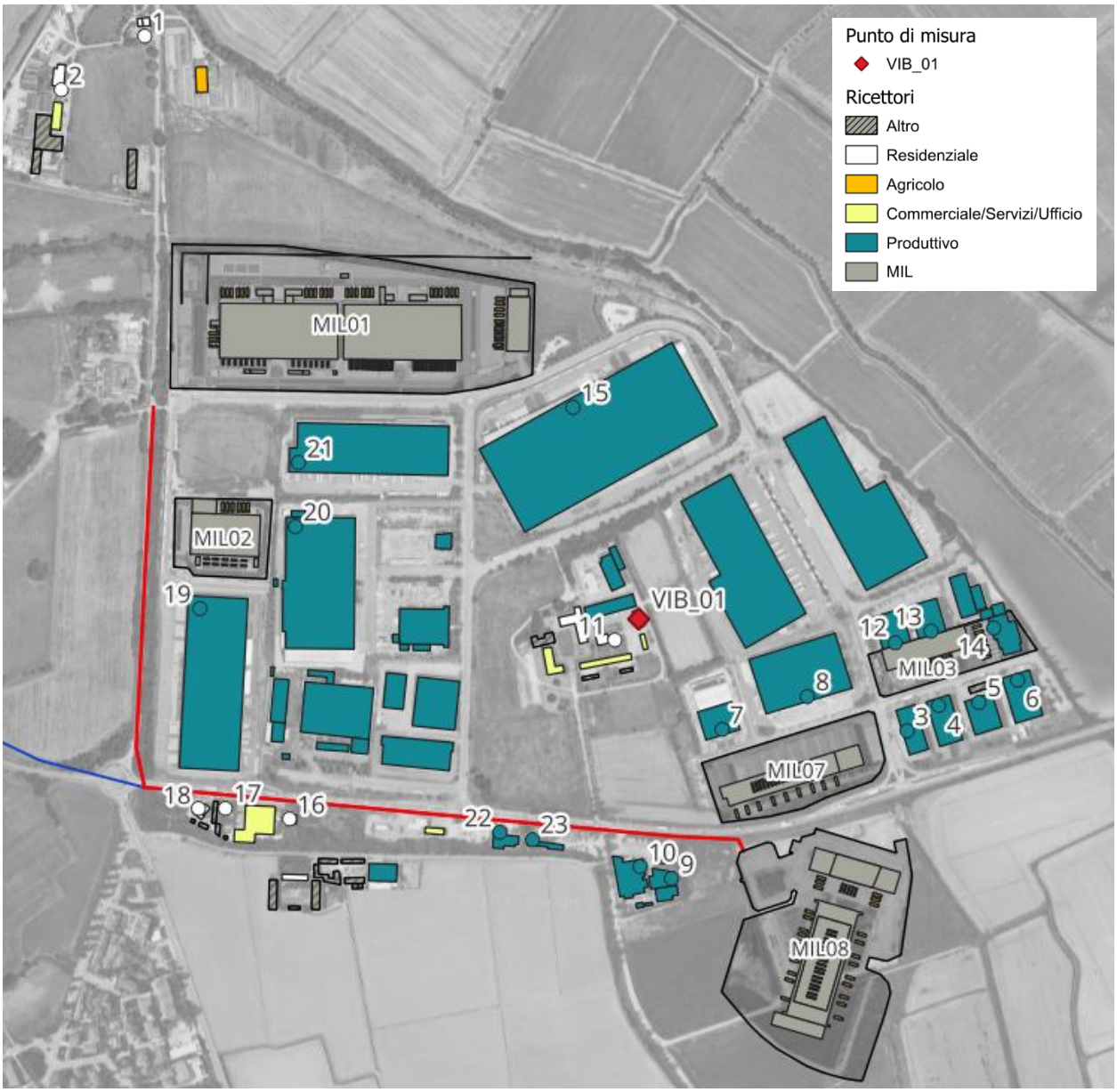



*Figura 4-1 - Localizzazione dei recettori nell'area e postazioni di misura*

*Figura 4-2 - Foto delle posizioni del punto di misurazione VIB_01*

## 4.2 Confronto con i limiti

Di seguito, i livelli di vibrazione rilevati dalla misurazione vibrometrica sono confrontati con i limiti previsti dalla norma UNI 9614:2017 in base alla destinazione d'uso del ricettore.

*Tabella 4-3 - Confronto con il limite diurno*

| Posizione | Periodo | Destinazione d'uso | Limite Diurno (6am-10pm) | Vsorg Livello misurato | Valutazione |
|---|---|---|---|---|---|
| VIB_01 | Diurno | Residenziale (*) | **7,2 mm/s²** (*) | **1,2 mm/s²** | **Entro il limite** |

*Tabella 4-4 - Confronto con il limite notturno*

| Posizione | Periodo | Destinazione d'uso | Limite Notturno (22pm-6am) | Vsorg Livello misurato | Valutazione |
|---|---|---|---|---|---|
| R1 | Notturno | Residenziale (*) | **3,6 mm/s²** (*) | **1,1 mm/s²** | **Entro il limite** |

*(*) La misura è stata effettuata in un edificio a uso commerciale/servizi, ma i valori sono confrontati con i limiti diurni e notturni previsti per edifici residenziali dalla UNI 9614:2017, poiché l'indagine ha lo scopo di caratterizzare il complesso di edifici residenziali dell'area.*

## 4.3 Valutazione dello stato attuale delle vibrazioni

Per la valutazione dello stato attuale delle vibrazioni è stato analizzato il livello di vibrazioni residuo rilevato presso il ricettore R11, rappresentativo del contesto insediativo presente nell'area di studio.

Dall'analisi dei valori rilevati in campo emerge che i livelli di vibrazione registrati nel periodo diurno e notturno risultano sostanzialmente analoghi, con valori rispettivamente pari a 1,2 mm/s² e 1,1 mm/s², evidenziando una condizione di fondo caratterizzata da limitata variabilità temporale.

Tale andamento è riconducibile sia al fatto che il ricettore è inserito in un complesso di tipo cascinale a destinazione mista, costituito da edifici residenziali, produttivi e di servizio, nei quali si svolgono attività e funzioni ordinarie che contribuiscono alla definizione delle condizioni vibrazionali locali, sia al contesto territoriale circostante, caratterizzato dalla presenza di un tessuto insediativo e infrastrutturale eterogeneo.

Nel complesso, i livelli misurati risultano coerenti con la posizione del ricettore rispetto al contesto insediativo circostante e compatibili con i riferimenti normativi adottati (UNI 9614:2017), confermando uno stato di esposizione compatibile con le condizioni ambientali dell'area.

Al fine della valutazione del valore del vettore di vibrazione residuo, è stato assunto il valore misurato in campo, pari a **0,2 mm/s²**, ritenuto cautelativamente rappresentativo delle condizioni di fondo dell'area di studio.

# 5 STUDIO DI IMPATTO VIBRAZIONALE – MODELLO PREVISIONALE

## 5.1 Definizione del disturbo vibrazionale

La caratterizzazione del disturbo vibrazionale è effettuata in termini di definizione del Vettore Sorgente (Vsorg espresso in mm/s$^2$) ossia del vettore accelerazione relativo alla sorgente in valutazione per determinare la percezione umana e della velocità (in mm/s) per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici. È possibile convertire i valori di accelerazione "a" nel corrispondente valore di velocità "v", nota la frequenza "f", tramite la relazione:

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Convenzionalmente, in analogia con le analisi del rumore, sia i valori di velocità che quelli di accelerazione è possibile valutati sulla scala dei dB, tramite le relazioni:

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg\left[\frac{a}{a_0}\right] \qquad L_{vel} = 20 \cdot \lg\left[\frac{v}{v_0}\right]$$

in cui compaiono i valori di riferimento $a_0$ = 0.001 mm/s$^2$ e $v_0$ = 1·10$^{-6}$ mm/s.

## 5.2 Metodologia per la valutazione dei livelli vibrazionali indotti dal cantiere

Il fenomeno con cui un prefissato livello di vibrazioni imposto sul terreno si propaga nelle aree circostanti è correlato alla natura del terreno, alla frequenza del segnale e alla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto. Il metodo previsionale dei livelli di vibrazione ha impiegato simulazioni numeriche.

In dettaglio si illustrano i passi seguiti nell'elaborazione. La valutazione dei livelli vibrazionali è stata condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei fenomeni considerati (attività dei mezzi di cantiere e per il trasporto dei materiali nonché impianti fissi), utilizzando sia dati bibliografici che rilievi strumentali. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza nota dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla componente verticale. In particolare, si assume nello studio che la componete vettoriale che origina il Vettore Immissione e conseguentemente il Vettore Sorgente, sia la componente verticale.

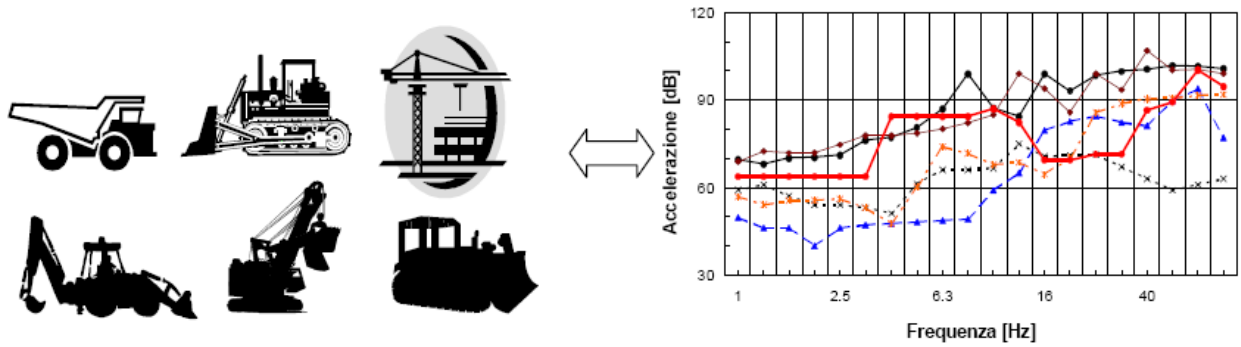



*Figura 5-1 – Relazione tra mezzi d'opera e spettro di emissione di vibrazioni*

Dagli spettri delle sorgenti si determina il livello di accelerazione non ponderato a distanze crescenti dalla sorgente mediante una legge di propagazione. Nel caso di sorgenti superficiali, ad esempio, si precisa che l'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d è basata sulla seguente formulazione:

$$a(d,f)=a(d_0,f)\cdot\left(\frac{d_0}{d}\right)^n\cdot e^{-2\pi\cdot f(\eta/c)\cdot(d-d_0)}$$

I livelli complessivi di accelerazione non pesati a distanze crescenti dalla sorgente corrispondenti agli scenari analizzati sono dati dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine previste. Come legge di combinazione degli spettri è stata adottata la regola SRSS (Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares) che consiste nell'eseguire la radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine. Per ciascuna frequenza si è quindi ottenuto quindi un valore complessivo non pesato di tutte le macchine attive ($A_{TOT,f}$) sotto forma di matrice.

$$A_{TOT,f}=\sqrt{A_1(f,d)^2+A_2(f,d)^2+\ldots+A_N(f,d)^2} \quad \text{(SRSS)}$$

Relativamente ad ogni scenario modellizzato, si è applicato alla matrice citata la curva di attenuazione definita per postura non nota (o asse generico) dalla UNI 9614.

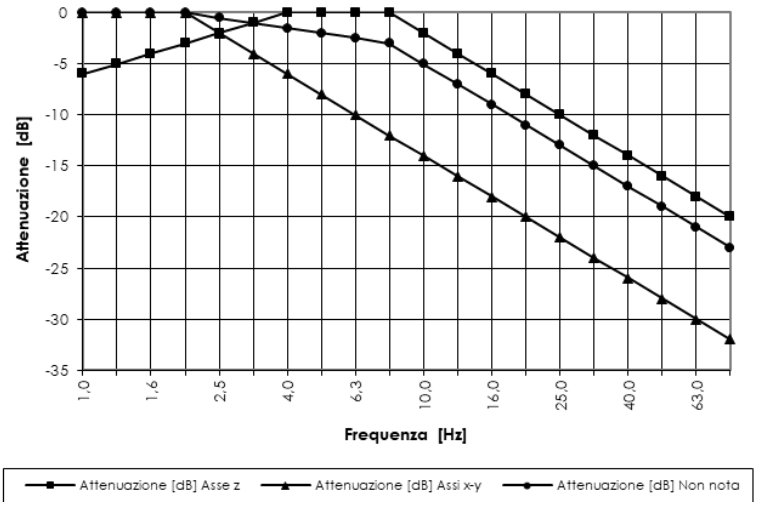



*Figura 5-2 – Filtri di ponderazione per i diversi assi di riferimento*

Si è quindi ottenuta la matrice dei livelli ponderati di accelerazione complessiva per singola frequenza e distanza, con cui è stato possibile realizzare specifici grafici di propagazione dello spetto della somma delle sorgenti analizzate.

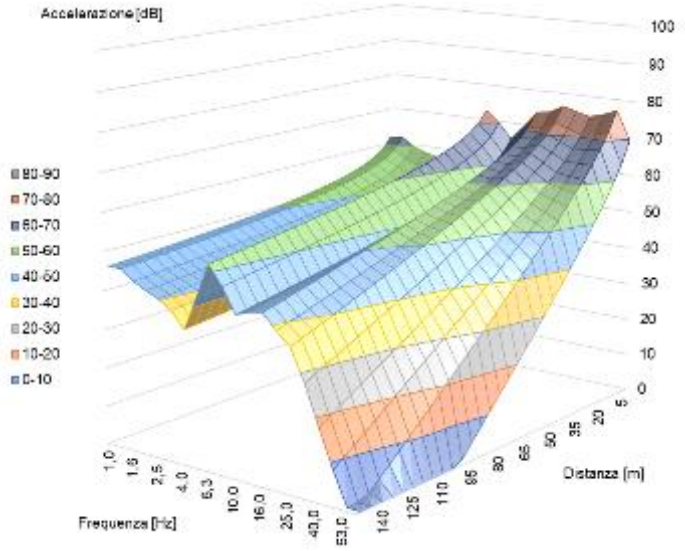



*Figura 5-3 – Propagazione dello spettro di vibrazione*

Il livello totale di accelerazione ponderata in funzione della distanza, $a_{w,d}$, è ottenuto sommando tutti i corrispondenti valori per frequenza $A_{TOT,f}$. Il numero ottenuto è rappresentativo dell'accelerazione complessiva ponderata sul vettore di riferimento, il quale individua il Vettore Immissione ad una determinata distanza. Ripetendo questa operazione per una griglia di distanze si è ottenuto il profilo di attenuazione dell'accelerazione ponderata e complessiva di tutti i Vettori di Immissione. Per la definizione del Vettore Sorgente sarà necessario stabilire il Vettore Residuo. In particolare, se il Vettore Residuo è molto basso il Vettore Immissione sarà molto prossimo, se non coincidente al Vettore Sorgente. Nella valutazione si procederà ad una valutazione del Vettore Residuo o tramite indagini sperimentali o in base a dati noti di letteratura basati sulla fruizione dei luoghi relativamente alla destinazione d'uso.

Al fine della definizione della funzione di trasferimento delle vibrazioni si procederà alla regressione dei valori ottenuti dall'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza, valutandone la bontà tramite il coefficiente di determinazione $R^2$. Il coefficiente $R^2$ (R quadro), o coefficiente di determinazione, è un indice statistico che permette di valutare se un modello di regressione può essere affidabile ossia misura il legame tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato. $R^2$ prossimo a 0 indica un modello le cui variabili predittive non spiegano la variabilità della y intorno alla sua media, mentre un $R^2$ prossimo a 1 indica un modello le cui variabili indipendenti riescono a predire completamente la variabilità della y intorno alla sua media.

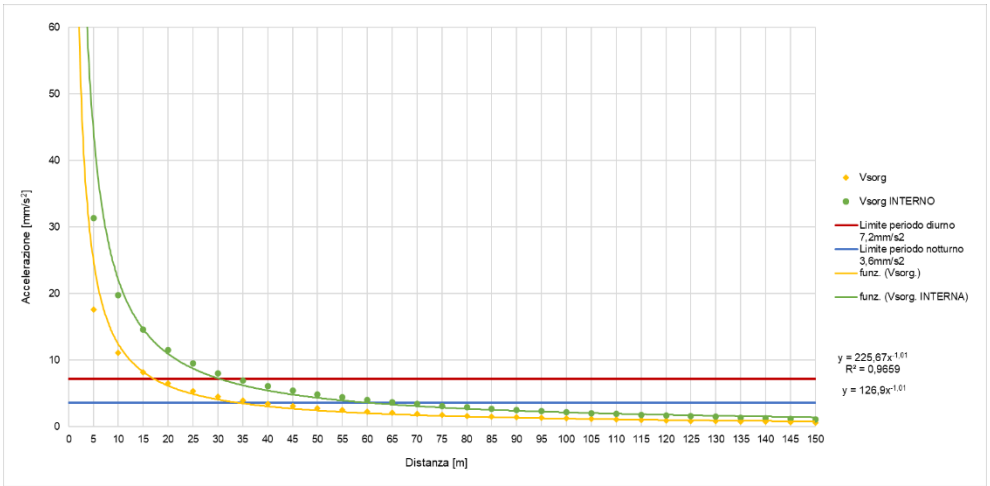



*Figura 5-4 – Valutazione della propagazione del livello di vibrazioni (Vettore Sorgente) a diverse distanze*

Ai fini del confronto con i livelli di riferimento della norma UNI 9614:2017 si procederà al confronto con il Vettore Sorgente determinato, in funzione dell'ubicazione del ricettore e della destinazione d'uso.

## 5.3 Modello di calcolo

Al fine dell'esecuzione del calcolo della propagazione delle vibrazioni saranno presi in considerazione due posizioni che possono assume le sorgenti: sarà identificato il caso in cui le sorgenti sono in superficie (sorgenti superficiali) ed in profondità (sorgenti profonde).

### 5.3.1 Sorgenti superficiali

Parlando della trasmissione di vibrazioni nel terreno, è necessario distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale: onde di compressione (onda P), onde di taglio (onda S) e onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L), le quali hanno velocità di propagazione differente in funzione del modulo di Poisson del terreno.

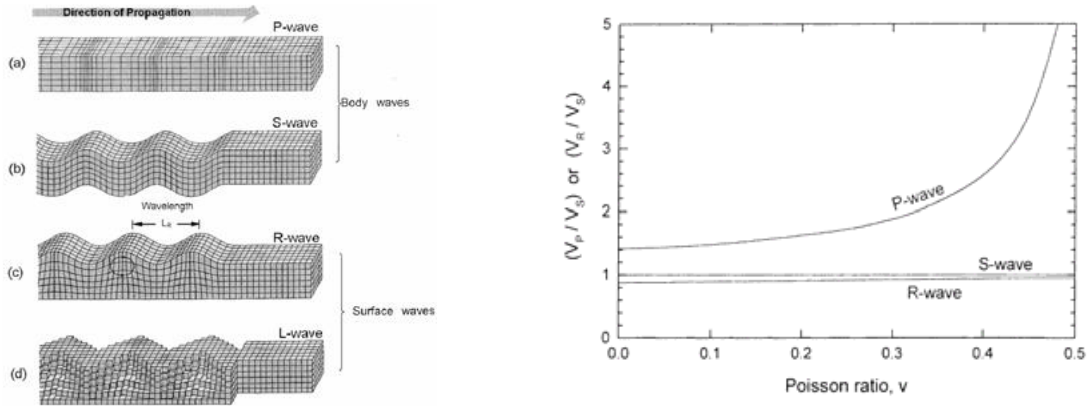



*Figura 5-5 – Tipi di onda di volume e di superficie (a sinistra) e velocità relativa delle onde P, R rispetto onde S (a destra)*

L'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d, per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R), è basata sulla seguente formulazione:

$$a(d,f)=a(d_0,f)\cdot\left(\frac{d_0}{d}\right)^n\cdot e^{-2\pi\cdot f(\eta/c)\cdot(d-d_0)}$$

dove η è il fattore di perdita del terreno, c la velocità di propagazione in m/s, f la frequenza in Hz, d la distanza in m, e $d_0$ la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione, assunta pari a 5m. L'esponente n varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni. Ai fini dell'analisi dei livelli massimi, si è preceduto prendendo a riferimento una sorgente concentrata, fissando l'esponente n a 0.5 per le onde di superficie (predominanti in caso di sorgente posta in superficie) e 1 per le onde di volume (predominanti in caso di sorgente profonda). Risulta pertanto evidente come la propagazione a partire da una sorgente posta in profondità sia dotata, anche nel caso di terreno omogeneo, di molta più rapida attenuazione al crescere della distanza dalla sorgente.

*Tabella 5-1 - Definizione dell'esponente n in base al tipo di sorgente e onda*

| Tipo di sorgente | Onda | Strato | n |
|---|---|---|---|
| Linea | Superfice | Superfice | 0 |
| | Volume | Superfice | 1.0 |
| Punto | Rayleight | Superfice | 0.5 |
| | Volume | Superfice | 2.0 |
| Linea Sotterranea | Volume | Profondo | 0.5 |
| Punto Sotterraneo | Volume | Profondo | 1.0 |

Il termine esponenziale rappresenta i fenomeni di dissipazione di energia meccanica in calore, che, come si vede, va crescendo proporzionatamente alla frequenza. Ciò fa sì che le alte frequenze si estinguano dopo un breve percorso, mentre le frequenze più basse si propagano a distanze maggiori.

Il rapporto η/c (indicato anche come ρ) dipende, infine, dal particolare tipo di terreno considerato, ed assume valori elevati nel caso di terreno coltivato soffice, mentre assume valori molto modesti nel caso di pavimentazioni rigide.

*Tabella 5-2 - Coefficiente di attenuazione*

| Classe | Descrizione del materiale | Coefficiente di attenuazione | ρ |
|---|---|---|---|
| I | Cedevole o tenero (terreno che può essere scavato facilmente) | 0.003-0.01 | $2x10^{-4}$ – $6x10^{-4}$ |
| II | Consolidato (terreno che può essere scavato utilizzando una pala) | 0.001-0.003 | $6x10^{-5}$ – $2x10^{-4}$ |

| Classe | Descrizione del materiale | Coefficiente di attenuazione | ρ |
|---|---|---|---|
| III | Duro (terreno che non può essere scavato con una pala ma necessità di un piccone) | 0.0001-0.001 | $6x10^{-6}$ - $6x10^{-5}$ |
| IV | Duro consolidato (terreno che scavato difficilmente utilizzando un martello) | <0.0001 | $<6x10^{-6}$ |

Il modello semplificato di propagazione illustrato considera i soli fenomeni previsti in un terreno supposto omogeneo ed isotropo, nel caso si abbia propagazione in presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione, è evidente che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno risultino "filtrati" dalla funzione di trasferimento del sistema struttura edilizia.

In particolare, diversi sistemi di fondazione producono una attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante; tale aspetto è legato al fatto che l'interfaccia terreno-struttura non è perfettamente solidale, e pertanto genera fenomeni dissipativi o di amplificazione.

### *5.3.2 Sorgenti in profondità*

Nel caso dell'attività di cantiere ove intervenga necessità di realizzazioni di opere in profondità (palificazione, ecc.), la valutazione della legge di propagazione delle vibrazioni con la distanza è più complessa, in quanto non si ha più la semplice legge di propagazione delle onde superficiali, ma si ha a che fare con una sorgente posta in profondità, che dà luogo alla propagazione di onde di volume. Si consideri ora lo schema di emissione illustrato nella seguente figura:

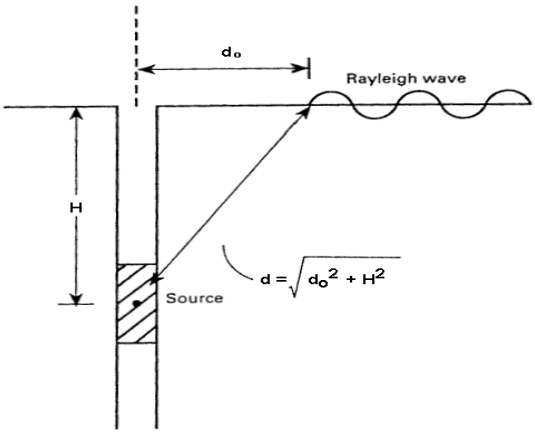



*Figura 5-6 – Schema della propagazione a partire da una sorgente profonda*

Si può notare che, rispetto all'emissione di onde di superficie da parte di una sorgente concentrata posta sulla sommità del suolo, al recettore arrivano onde che hanno compiuto un percorso più lungo, e che si sono maggiormente attenuate lungo tale percorso a causa della legge di divergenza volumetrica anziché superficiale.

Considerando che l'epicentro di emissione si collochi circa ad 1/2 della lunghezza dell'elemento infisso, ovvero, per un palo di 9 m, a circa 5 m di profondità, si ha la seguente espressione relativa alla propagazione delle vibrazioni con cui è possibile calcolare il livello di accelerazione sulla superficie del suolo in funzione della distanza d0 (misurata in orizzontale, sulla superficie) fra l'asse del palo ed il recettore.

$$a(d_0, f) = a(d_0, f) \cdot \left[ \frac{d_0}{\sqrt{D^2 + H^2}} \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{\eta}{c} \cdot \left( \sqrt{D^2 + H^2} - d_0 \right)} \right]$$

Il calcolo verrà eseguito assumendo che:

- il recettore si trovi ad una profondità di 3 m sotto il piano di campagna, poiché questa è la quota a cui si trovano in media le basi delle fondazioni degli edifici;
- rispetto a tale posizione, poiché l'epicentro di emissione è posto a 5 m di profondità, H assume un valore pari a 2 m;
- la distanza D a cui si è rilevato strumentalmente lo spettro di vibrazioni dovuto alla lavorazione in profondità è 5 m.

### *5.3.3 Sintesi delle ipotesi assunte*

Il calcolo dei livelli vibrazionali ai ricettori, in condizioni di campo libero, risultanti dalle configurazioni dei macchinari da cantiere previsti negli scenari analizzati è stato condotto considerando una legge di attenuazione stabilita sulla base delle seguenti assunzioni:

- le macchine da cantiere sono assunte come sorgenti puntuali;
- l'attenuazione dissipativa del mezzo è stata calcolata secondo un approccio teorico semplificato basato sull'ipotesi di mezzo debolmente dissipativo e campo vibratorio costituito in prevalenza da onde di superficie del tipo di Rayleight;
- nella valutazione sarà considerato il territorio con una tipologia di terreno mediamente consistente di tipo consolidato (Classe II, con $\rho$<1,5x10$^{-4}$; categoria C con c=380m/s; $\eta$=0,04);
- l'attenuazione geometrica afferente alla sorgente puntuale che lavora in superficie (escavatore, autocarro, pala, autocarro, ecc.) è stata assunta proporzionale a r-1, mentre quella che opera in profondità è stata considerata con una legge di attenuazione proporzionale a r-0.5;
- l'epicentro di emissione, nel caso di sorgenti profonde, si collochi circa ad 1/2 della lunghezza dell'elemento infisso nel terreno;
- i livelli vibrazionali a distanze crescenti dalla sorgente corrispondenti agli scenari analizzati sono dati dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine di cantiere, mediante radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine.

# 6 VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO VIBRAZIONALE – FASE DI CANTIERE

## 6.1 Introduzione

La valutazione delle vibrazioni ha lo scopo di stimare gli effetti sull'ambiente circostante delle vibrazioni emesse dai macchinari di cantiere impiegati per la realizzazione dell'opera in progetto.

In dettaglio si procederà analizzando le principali sorgenti previste in funzione delle attività lavorative che saranno sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici (escavatore, sonda perforatrice, ecc.) ed in mezzi adibiti al trasporto (autocarri, autobetoniera, ecc.). Verrà descritto il metodo adottato per la previsione dei livelli vibrazionali indotti durante realizzazione delle opere e tali livelli saranno confrontati con i limiti della normativa in materia per ciò che riguarda l'effetto delle vibrazioni sulle persone e strutture.

Lo studio vibrazionale per la fase di cantiere è volto, in particolare, all'accertamento del disturbo alle persone, il quale ha limiti più restrittivi rispetto a quelli determinati sulle strutture. Pertanto, qualora si verifichi dall'esame della previsione di propagazione delle vibrazioni la presenza di edifici nelle più zone più critiche, tale elemento non costituisce un fattore per la stima di un possibile danno alle strutture, evidenziando unicamente il superamento di una soglia di disturbo per i residenti dell'edificio stesso. Tale soglia, pur ricavata dalle normative tecniche esistenti in sede nazionale ed internazionale, non risulta fissata da alcun atto legislativo.

Per quanto riguarda gli effetti sulle strutture, in presenza di livelli elevati e prolungati di vibrazioni, sono stati osservati danni strutturali a edifici e/o strutture. È da notare, però, che tali livelli sono più alti di quelli normalmente tollerati dagli esseri umani, i cui livelli sono riportati nelle norme ISO 2631 e UNI 9614. Tale considerazione è facilmente deducibile dal confronto dei valori riportati nelle norme che riportano i danni sull'uomo (ISO 2631 e UNI 9614) con i valori nelle norme che riguardano i danni strutturali (UNI 9916 ed ISO 4866), pertanto le prime sono state scelte quale riferimento, poiché riportano dei valori limite più restrittivi.

In definitiva, soddisfatto l'obiettivo di garantire livelli di vibrazione accettabili per le persone, risulta automaticamente realizzata l'esigenza di evitare danni strutturali agli edifici, almeno per quanto concerne le abitazioni civili. Come unica eccezione sono da annoverare le vibrazioni che incidono su monumenti e beni artistici di notevole importanza storico-monumentale, i quali devono essere trattati come punti singolari con studi e valutazioni mirate.

Per lo studio dell'impatto vibrazionale si è proceduto con le operazioni seguenti:

- analisi del territorio in cui si colloca l'opera e delle caratteristiche dei ricettori;
- definizione degli scenari critici in termini di impatto vibrazionale;
- valutazione delle vibrazioni previste sui ricettori prossimi.

## 6.2 Inquadramento degli interventi in progetto

Gli interventi da realizzare nel CAMPUS di Siziano sono distinguibili nei seguenti macro-interventi:

1. **Sviluppi FUTURI -** I siti oggetto dello sviluppo futuro sono di seguito descritti:

a. **MIL07 *(brownfield projects)*:** Si tratta della realizzazione di un nuovo insediamento in un intervento di riqualificazione dell'immobile ubicato sul lato ovest dell'ingresso del Polo Logistico Siziano nord in Via Lombardia.
b. **MIL08A *(greenfield projects)*:** Si tratta della realizzazione di un nuovo insediamento su una area a sud della SP40 Binasco Melegnano, a ridosso del comparto industriale Siziano Nord esistente, e Convenzionata nell'Ambito ATC-PL1 del Comune di Siziano;

2. **Sviluppi di AMPLIAMENTO -** Gli sviluppi prevedono l'ampliamento attraverso la possibile installazione di nuovi gruppi elettrogeni e serbatoi di stoccaggio combustibile dei siti esistenti e in costruzione rispetto alla iniziale configurazione di progetto, il tutto per far fronte alle nuove innovazioni tecnologiche dei clienti di STACK con conseguente incremento di richiesta di potenza elettrica. I siti oggetto di ampliamento sono:
   a. **MIL01**
   b. **MIL02**
   c. **MIL03**
   d. **MIL08B**
3. **Opere connesse** - Comprendono l'estensione dell'elettrodotto tra MIL01 e MIL08, nonché la realizzazione della nuova sottostazione elettrica in prossimità del sito MIL08A e della nuova viabilità (SP40).

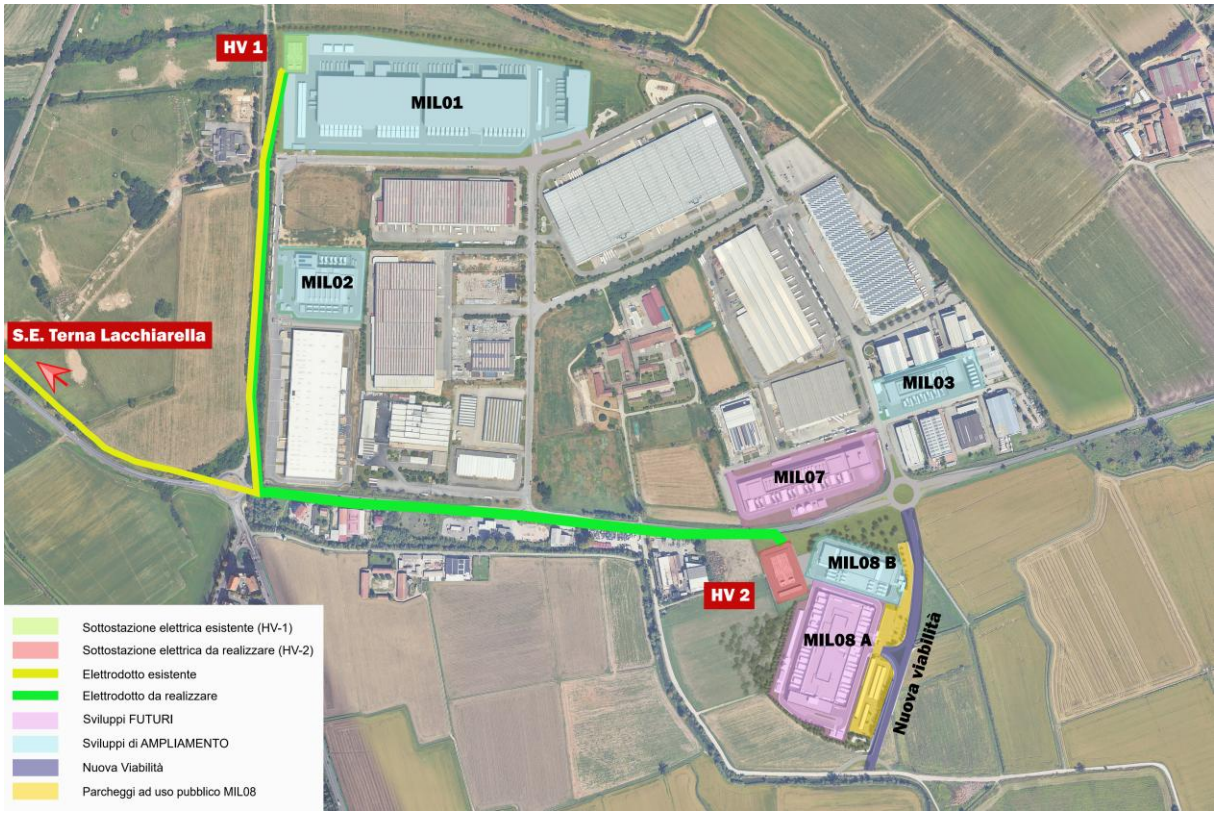



*Figura 6-1 – Mappa generale della localizzazione degli interventi*

Ai fini della presente valutazione di impatto vibrazionale relativa alla fase di cantiere, gli scenari analizzati sono stati definiti sulla base delle opere in progetto sopra descritte, in coerenza con la sequenza temporale e le modalità esecutive previste dal cronoprogramma dei lavori. La definizione degli scenari ha consentito di individuare le fasi di cantiere maggiormente rappresentative sotto il profilo delle emissioni vibrazionali, assumendo per ciascuna di esse le lavorazioni e i macchinari potenzialmente più gravosi. Nei paragrafi seguenti sono descritte le caratteristiche dei singoli scenari di cantiere e le relative ipotesi adottate ai fini della valutazione previsionale.

## 6.3 Valutazione degli aspetti ambientali legati al cantiere

Con riferimento alle vigenti normative, le attività di cantiere possono essere definite come sorgenti di vibrazione intermittente. Un ricettore adiacente all'area di cantiere è infatti soggetto ad una serie di eventi di breve durata, separati da intervalli in cui la vibrazione ha una ampiezza significativamente più bassa. In relazione alle attività lavorative di cantiere previste per la realizzazione dell'opera in esame, sono stati individuati scenari di cantiere critici per il potenziale impatto in termini di vibrazioni sull'ambiente circostante.

In particolare, le emissioni vibrazionali durante le lavorazioni possono essere legate agli impianti fissi/semifissi nei diversi cantieri stabili, e discontinue, dovute alle lavorazioni nelle aree di cantiere e nei fronti di avanzamento.

Si rammenta come l'impatto vibrazionale nelle simulazioni numeriche sarà valutato secondo al UNI 9614:2017 con il confronto con i valori di riferimento per il disturbo alle persone.

### 6.3.1 Definizione degli scenari di lavoro

Analizzando le principali sorgenti previste in funzione delle attività lavorative, si conviene come esse siano sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici ed in mezzi adibiti al trasporto, le prime hanno una distribuzione spaziale abbastanza prevedibile e delimitata all'interno dell'area di lavoro e movimentazione terre mentre, i secondi si distribuiscono lungo il percorso che collega il fronte di avanzamento lavori ai luoghi di approvvigionamento o di stoccaggio.

Gli scenari in esame sono stati definiti avendo come prima finalità quella di fornire risultati sufficientemente cautelativi sotto l'aspetto vibrazionale. Si sottolinea tuttavia come le situazioni esaminate non possano comunque rappresentare tutti i macchinari potenzialmente presenti in contemporanea all'interno dell'area di cantiere. La valutazione dei livelli vibrazionali è stata quindi condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere sopra citati utilizzando dati bibliografici o rilevati. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla componente verticale, la quale sarà assunta come componete principale del vettore di propagazione delle vibrazioni (vettore immissione).

In generale, nelle aree di cantiere ove sono presenti gli impianti fissi (p.es lavorazioni di dettaglio su eventuali opere civili, ecc.) le emissioni di vibrazioni risultano usualmente più contenute rispetto a quelle presenti sul cantiere in linea poiché la natura stessa delle lavorazioni determina minori sollecitazioni meccaniche sul terreno e, di conseguenza, minore trasmissione di energia meccanica verso i potenziali ricettori.

Il calcolo del livello di vibrazione in condizioni di campo libero sarà definito nell'intorno del cantiere con una risoluzione di circa 5 m nelle direzioni orizzontali (piano di campagna), ottenendo il grafico della propagazione delle vibrazioni in funzione della distanza.

La metodologia assunta per l'analisi delle interferenze riferita alla fase di cantierizzazione si basa sulla teoria del "*Worst Case*" Scenario. Tale metodo individua la condizione operativa di cantiere più gravosa in termini di emissioni di vibrazioni sul territorio in modo che verificandone le condizioni di esposizione del territorio alle vibrazioni indotte rispetto ai limiti della UNI 9614:2017 possano essere individuate le eventuali soluzioni di mitigazione più opportune al fine di contenere il disturbo sui ricettori più esposti. L'analisi tiene conto dell'insieme delle diverse attività di cantiere in funzione della localizzazione delle diverse aree di lavoro.

In virtù della particolare configurazione del cantiere, la valutazione è stata effettuata assumendo la massima sovrapposizione delle lavorazioni previste, sulla base del cronoprogramma dei lavori, al fine di rappresentare cautelativamente la configurazione potenzialmente più impattante dal punto di vista delle vibrazioni.

Nello specifico saranno valutati n.3 scenari, relativi ai momenti di massimo potenziale disturbo ai ricettori ubicati in prossimità del sito:

- Scenario 01: scavo e movimentazione terre;
- Scenario 02: costruzione e allestimento dei fabbricati, allestimento impianti esterni;
- Scenario 03: costruzione cavidotto.

Per gli scenari elencati sono stati considerati i seguenti mezzi che, per eseguire una valutazione conservativa, si ipotizza lavoreranno simultaneamente. Per quanto riguarda l'orario di lavoro, si assume un'operatività nel solo periodo diurno, articolata su 2 turni (mattutino 07-13, pomeridiano 14-19).

**A - Scavo e movimentazione terre**

| Mezzi | Unità | Ore di lavoro (periodo diurno) |
|---|---|---|
| [1] Escavatore | 8 | 12 |
| [2] Autocarro | 8 | 12 |
| [3] Pala Meccanica | 6 | 12 |
| [5] Autogrù | 2 | 12 |

**B - Costruzione e allestimento dei fabbricati**

| Mezzi | Unità | Ore di lavoro (periodo diurno) |
|---|---|---|
| [5] Autogrù | 3 | 12 |

| Mezzi | Unità | Ore di lavoro (periodo diurno) |
|---|---|---|
| [2] Autocarro | 6 | 12 |
| [4] Autobetoniera | 3 | 12 |

## C - Allestimento impianti esterni

| Mezzi | Unità | Ore di lavoro (periodo diurno) |
|---|---|---|
| [1] Escavatore | 2 | 12 |
| [2] Autocarro | 4 | 12 |

## D- Costruzione cavidotto

| Mezzi | Unità | Ore di lavoro (periodo diurno) |
|---|---|---|
| [1] Escavatore | 1 | 12 |
| [2] Autocarro | 1 | 12 |

La valutazione dei livelli vibrazionali è stata condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere utilizzando dati bibliografici e misure dirette in campo. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla sola componente verticale considerata quella che fornisce il contributo maggiore sul vettore immissione.

Si precisa infine che stante l'indisponibilità di dati sperimentali per tutti i macchinari presenti nel cantiere in esame, si è proceduto utilizzando quelli di macchine in grado di trasmettere al terreno sollecitazioni di simile entità, ma di cui sia noto lo spettro.

Di seguito le tabelle ed i grafici di caratterizzazione delle sorgenti di vibrazioni individuate negli scenari di riferimento delle lavorazioni che li costituiscono. I valori seguenti sono espressi in mm/s$^2$.

| Sc.1) SCAVO E MOVIMENTAZIONE TERRE | | Frequenza (Hz) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mezzi attivi | D. (m) | 1 | 1,25 | 1,6 | 2 | 2,5 | 3,15 | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
| Escavatore (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari) | 5 | 0,32 | 0,20 | 0,19 | 0,12 | 0,20 | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,30 | 0,98 | 1,88 | 9,89 | 13,34 | 16,79 | 12,59 | 12,02 | 28,84 | 51,88 | 8,41 |
| Pala meccanica assimilata a Pala Cingola | 5 | 0,71 | 0,50 | 0,63 | 0,67 | 0,60 | 0,45 | 0,24 | 1,12 | 5,62 | 3,98 | 2,51 | 2,99 | 1,58 | 3,98 | 19,95 | 29,85 | 35,48 | 37,58 | 39,81 | 42,17 |
| Autocarro, Autogrù assimilati ad Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari) | 5 | 0,89 | 1,12 | 0,71 | 0,50 | 0,47 | 0,45 | 0,33 | 1,26 | 2,11 | 2,00 | 2,04 | 5,75 | 3,76 | 3,55 | 3,55 | 2,24 | 1,50 | 0,89 | 1,06 | 1,33 |

| Sc.2) COSTRUZIONE E ALLESTIMENTO DEI FABBRICATI + ALLESTIMENTO IMPIANTI ESTERNI | | Frequenza (Hz) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mezzi attivi | D. (m) | 1 | 1,25 | 1,6 | 2 | 2,5 | 3,15 | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
| Escavatore (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari) | 5 | 0,32 | 0,20 | 0,19 | 0,12 | 0,20 | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,30 | 0,98 | 1,88 | 9,89 | 13,34 | 16,79 | 12,59 | 12,02 | 28,84 | 51,88 | 8,41 |
| Autocarro, Autogrù, Autobetoniera assimilati ad Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari) | 5 | 0,89 | 1,12 | 0,71 | 0,50 | 0,47 | 0,45 | 0,33 | 1,26 | 2,11 | 2,00 | 2,04 | 5,75 | 3,76 | 3,55 | 3,55 | 2,24 | 1,50 | 0,89 | 1,06 | 1,33 |

| Sc.3) COSTRUZIONE CAVIDOTTO | | Frequenza (Hz) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mezzi attivi | D. (m) | 1 | 1,25 | 1,6 | 2 | 2,5 | 3,15 | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
| Escavatore (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari) | 5 | 0,32 | 0,20 | 0,19 | 0,12 | 0,20 | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,30 | 0,98 | 1,88 | 9,89 | 13,34 | 16,79 | 12,59 | 12,02 | 28,84 | 51,88 | 8,41 |
| Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari) | 5 | 0,89 | 1,12 | 0,71 | 0,50 | 0,47 | 0,45 | 0,33 | 1,26 | 2,11 | 2,00 | 2,04 | 5,75 | 3,76 | 3,55 | 3,55 | 2,24 | 1,50 | 0,89 | 1,06 | 1,33 |

Di seguito i grafici degli spettri delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z. Dall'analisi dei grafici sarà possibile identificare quali mezzi potrebbero causare una maggiore percezione del disturbo.

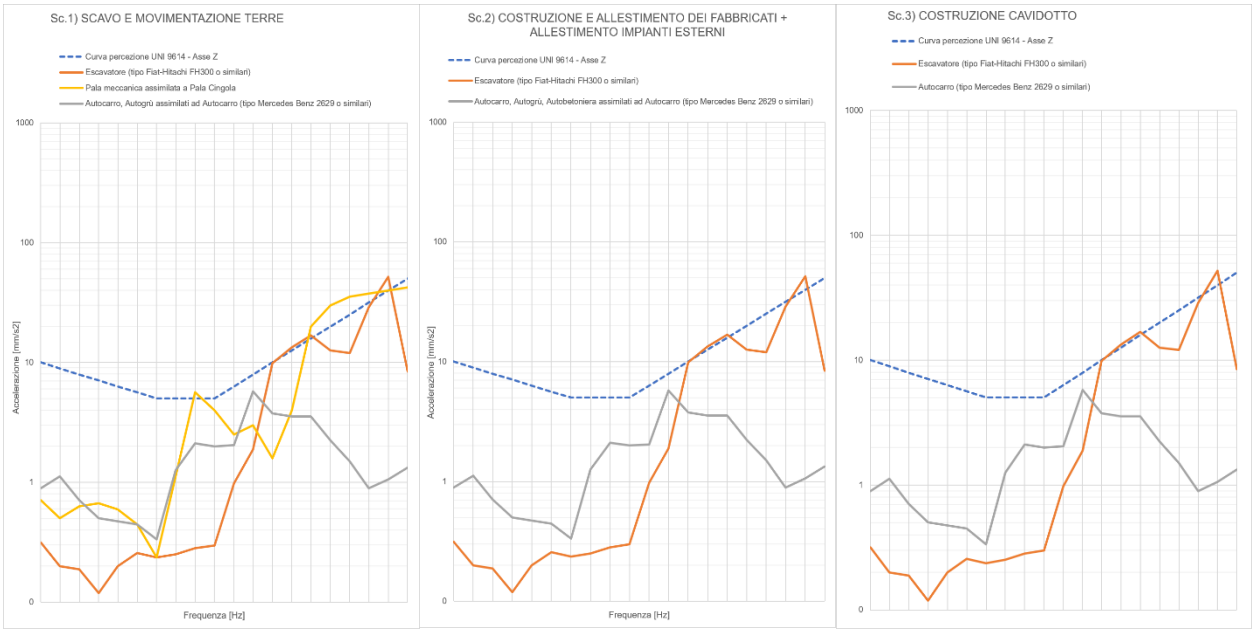



*Figura 6-2 – Spettri delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z*

### 6.3.2 Valutazione della propagazione delle vibrazioni

Dall'analisi della propagazione dello spettro, per ogni distanza della sede dell'attività di lavoro, è agevole calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli delle singole frequenze. In questo modo è stata calcolata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza, la quale è mostrata graficamente di seguito, per ogni scenario.

Nelle figure seguenti sono riportate la propagazione dello spettro nel terreno per le situazioni delle lavorazioni considerate.

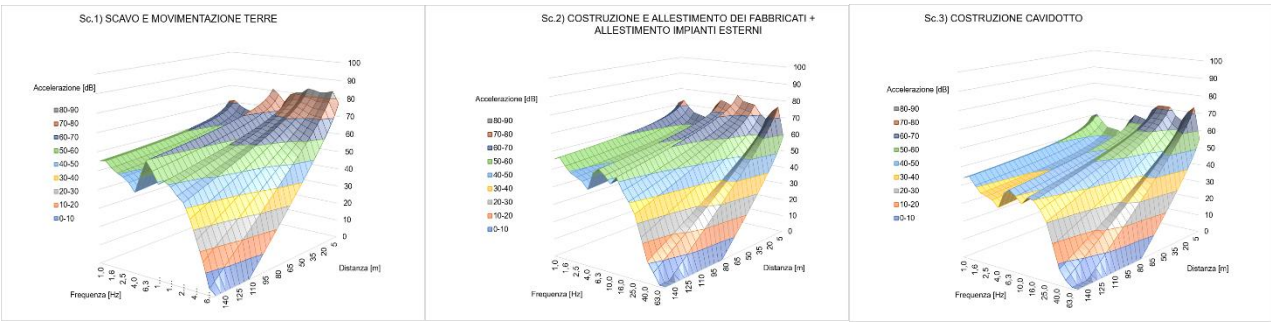



*Figura 6-3 – Propagazione dei livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza*

### 6.3.3 Stima dei futuri livelli vibrazionali

Il modello di propagazione illustrato fa riferimento ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, supposto omogeneo ed isotropo (almeno all'interno di ogni strato), senza tenere in considerazione per il momento la presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione che possono comportare variazioni dei livelli di accelerazione riscontrabili all'interno degli edifici stessi.

I sistemi fondazione in generale producono, in modo condizionato alla tipologia, un'attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante.

Inoltre, si rammenta il fenomeno della risonanza strutturale di elementi dei fabbricati, con particolare riferimento ai solai: quando infatti la frequenza dell'evento eccitante coincide con la frequenza naturale di oscillazione libera della struttura, quest'ultima registra un significativo incremento dei livelli di vibrazione rispetto a quelli registrabili sull'interfaccia terreno - costruzione.

Una stima dell'effetto locale di riduzione/amplificazione di ciascun edificio è possibile parametrizzando gli effetti combinati secondo curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

Sulla base di tali ipotesi, diviene possibile stimare in maniera approssimata per ogni edificio, note le sue caratteristiche costruttive, l'eventuale variazione massima sul solaio più sfavorito.

In merito alla previsione relativamente alla UNI 9614:2017 nelle seguenti considerazioni sull'entità dell'impatto vibrazionale presso i ricettori, avendo assunto un valore limite ammissibile pari a 7,2 mm/s$^2$ per gli edifici residenziali in virtù del periodo di lavoro diurno e un valore limite ammissibile pari a 14 mm/s$^2$ per gli edifici ad uso produttivo/servizi/ufficio, si applicherà un fattore che tenga conto della possibile sovramplificazione da parte della struttura dell'edificio ricettore (assunta per tutti i ricettori pari a +5 dB) permettendo così la valutazione all'interno degli edifici.

In relazione al Vettore Residuo, esso è stato determinato sulla base della misura effettuata nell'ambito del presente progetto. Nel modello previsionale, ai fini della determinazione di Vsorg, è stato assunto il valore di residuo pari a 0,2 mm/s$^2$, corrispondente al valore rilevato durante il rilievo vibrometrico eseguito presso il ricettore R11 e ritenuto rappresentativo delle condizioni locali.

Dall'analisi della propagazione spaziale del valore complessivo ponderato dell'accelerazione (Vettore Immissione) per gli scenari individuati, e tenendo conto del Vettore Residuo, si determina il Vettore Sorgente. Di seguito l'analisi della funzione di trasferimento per ogni situazione di lavoro individuata associata allo scenario di riferimento.

**Sc.1 – Scavo e movimentazione terre.** Per il presente scenario, il limite relativo al periodo diurno per i ricettori a destinazione residenziale, pari a 7,2 mm/s$^2$, considerando i possibili effetti di amplificazione indotti dagli edifici (assunti pari a +5 dB), risulta raggiunto a una distanza di circa 68 m dalla sorgente. Per i ricettori

a destinazione commerciale/servizi/ufficio, per i quali il limite di riferimento è pari a 14 mm/s², la medesima analisi individua una distanza di circa 35 m.

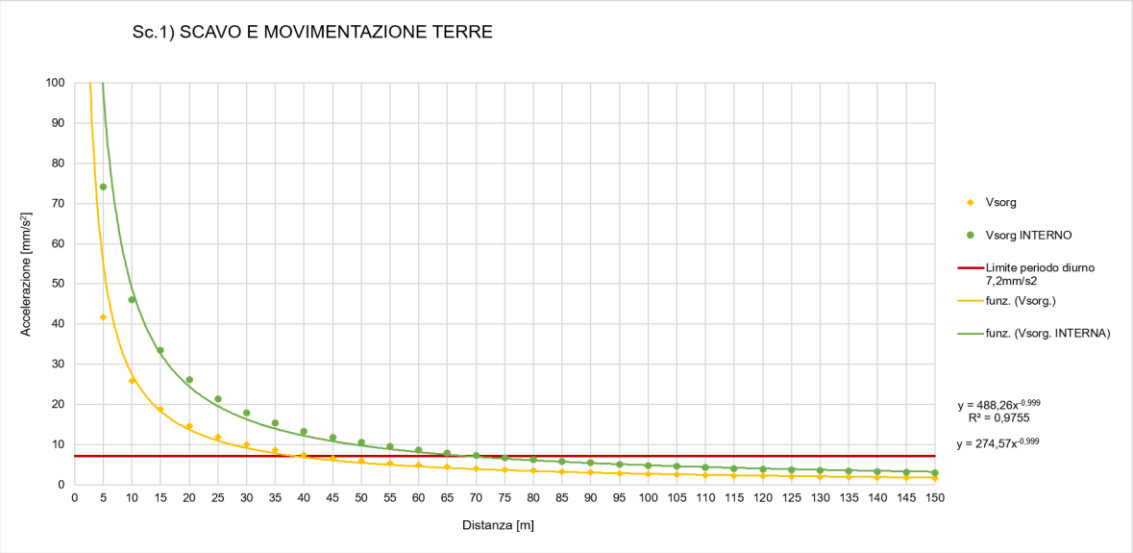



*Figura 6-4 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 01*

**<u>Sc.2 – Costruzione e allestimento dei fabbricati + Allestimento impianti esistenti.</u>** Per il presente scenario, il limite relativo al periodo diurno per i ricettori a destinazione residenziale, pari a 7,2 mm/s², considerando i possibili effetti di amplificazione indotti dagli edifici (assunti pari a +5 dB), risulta raggiunto a una distanza di circa 49 m dalla sorgente. Per i ricettori a destinazione commerciale/servizi/ufficio, per i quali il limite di riferimento è pari a 14 mm/s², la medesima analisi individua una distanza di circa 22 m.

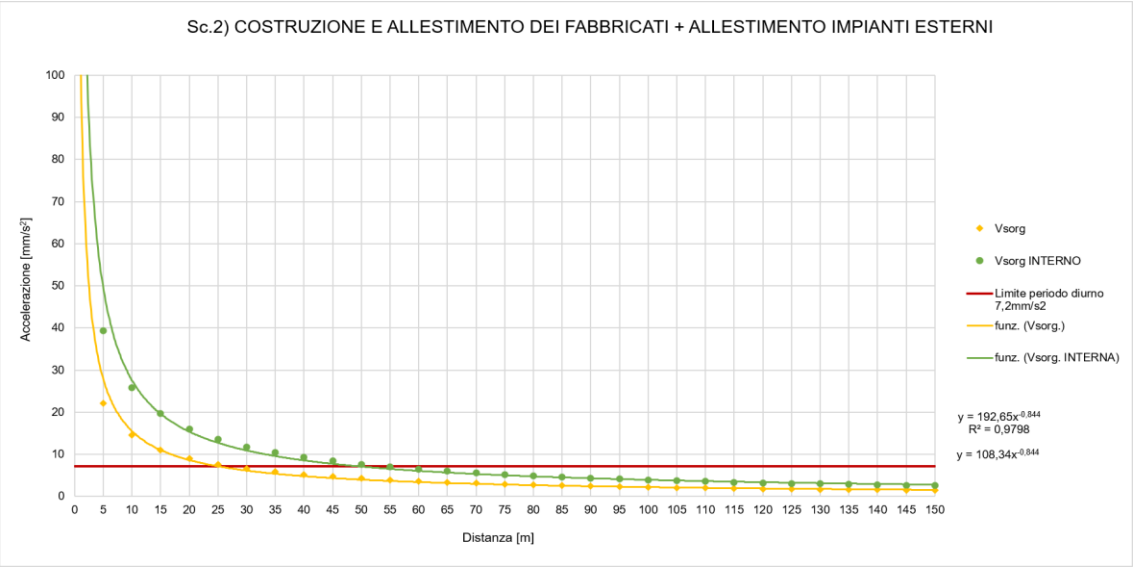



*Figura 6-5 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 02*

**Sc.3 – Costruzione cavidotto.** Per il presente scenario, il limite relativo al periodo diurno per i ricettori a destinazione residenziale, pari a 7,2 mm/s², considerando i possibili effetti di amplificazione indotti dagli edifici (assunti pari a +5 dB), risulta raggiunto a una distanza di circa 17 m dalla sorgente. Per i ricettori a destinazione commerciale/servizi/ufficio, per i quali il limite di riferimento è pari a 14 mm/s², la medesima analisi individua una distanza di circa 9 m.

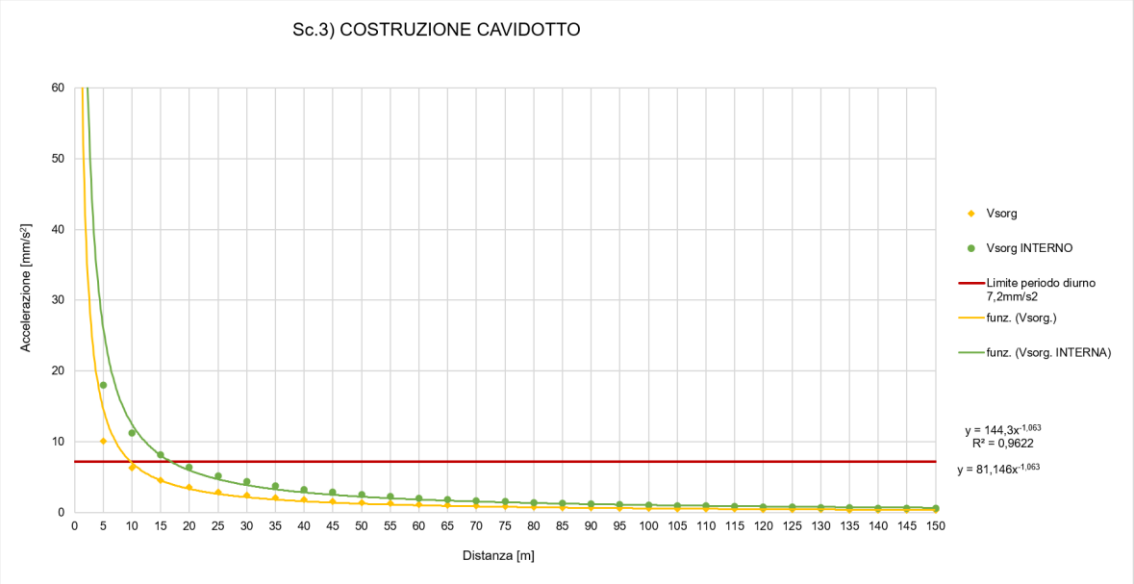



*Figura 6-6 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 03*

Di seguito la tabella con le distanze limite raggiunte per i limiti indicati dalla UNI 9614:2017 in funzione della destinazione d'uso dell'edificio.

*Tabella 6-1 - Sintesi distanze dal confine dell'area di cantiere per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti i limiti*

| Scenario | Funzione di Trasferimento | $R^2$ | Distanza in m del limite di 14 mm/s² interno a uffici | Distanza in m del limite Diurno di 7,2 mm/s² interno agli edifici residenziali | Distanza in m del limite di 5,4 mm/s² interno alle scuole | Distanza in m del limite Notturno di 3,6 mm/s² interno agli edifici residenziali | Distanza in m del limite di 2 mm/s² interno ad ospedali |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sc.1 – Scavo e movimentazione terre | $y=488,26 \cdot x^{-0,999}$ | *0,98* | 35 | 68 | 91 | 136(*) | 246 |

| Scenario | Funzione di Trasferimento | $R^2$ | Distanza in m del limite di 14 mm/s² interno a uffici | Distanza in m del limite Diurno di 7,2 mm/s² interno agli edifici residenziali | Distanza in m del limite di 5,4 mm/s² interno alle scuole | Distanza in m del limite Notturno di 3,6 mm/s² interno agli edifici residenziali | Distanza in m del limite di 2 mm/s² interno ad ospedali |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sc.2 – Costruzione e allestimento dei fabbricati + Allestimento impianti esterni | $y=192,65 \cdot x^{-0,844}$ | *0,98* | 22 | 49 | 69 | 112(*) | 224 |
| Sc.3 – Costruzione cavidotto | $y=144,3 \cdot x^{-1,063}$ | *0,96* | 9 | 17 | 22 | 32(*) | 56 |

*(*) lavorazioni non previste attive nel periodo*

Per determinare la bontà delle funzioni di trasferimento ottenute si procede ad eseguire la valutazione del parametro statistico $R^2$. La valutazione tra i dati e quelli definiti dalle regressioni ha determinato delle funzioni di trasferimento con valori di $R^2$ tra 0,96 e 0,98. Tali valori sono da ritenersi pienamente accettabili e confermano la rappresentatività delle funzioni di trasferimento.

### *6.3.4 Valutazione delle vibrazioni ai ricettori*

La presente sezione espone la valutazione della propagazione delle vibrazioni presso i ricettori per i tre scenari individuati e presentati in precedenza, limitatamente al periodo diurno. Per ciascun scenario è stata considerata la condizione operativa potenzialmente più impattante, con l'analisi effettuata sui ricettori presenti nell'area di influenza delle vibrazioni indotte dalle lavorazioni previste.

Negli stralci si riporta l'area di influenza delle vibrazioni emesse delle lavorazioni e definite da isolivello rappresentative dei valori limite della UNI 9614:2017 in funzione della destinazione d'uso dell'edificio. Tale rappresentazione consente di verificare la conformità dei ricettori ai valori limite, confrontando la tipologia d'uso dell'edificio con l'isolivello intercettato.

Ai fini della valutazione vibrazionale, sono stati considerati gli edifici del primo fronte prospiciente le aree di cantiere, con destinazione d'uso produttiva-commerciale, nonché i ricettori residenziali più prossimi all'area di intervento. In conformità alla normativa vigente, per i ricettori a destinazione residenziale è stato assunto un limite di accelerazione di riferimento pari a **7,2 mm/s²** nel periodo diurno, mentre per gli edifici a destinazione produttiva-commerciale il limite di riferimento adottato è pari a **14 mm/s²**.

### 6.3.4.1 Scenario 1 – Scavo e movimentazione terre

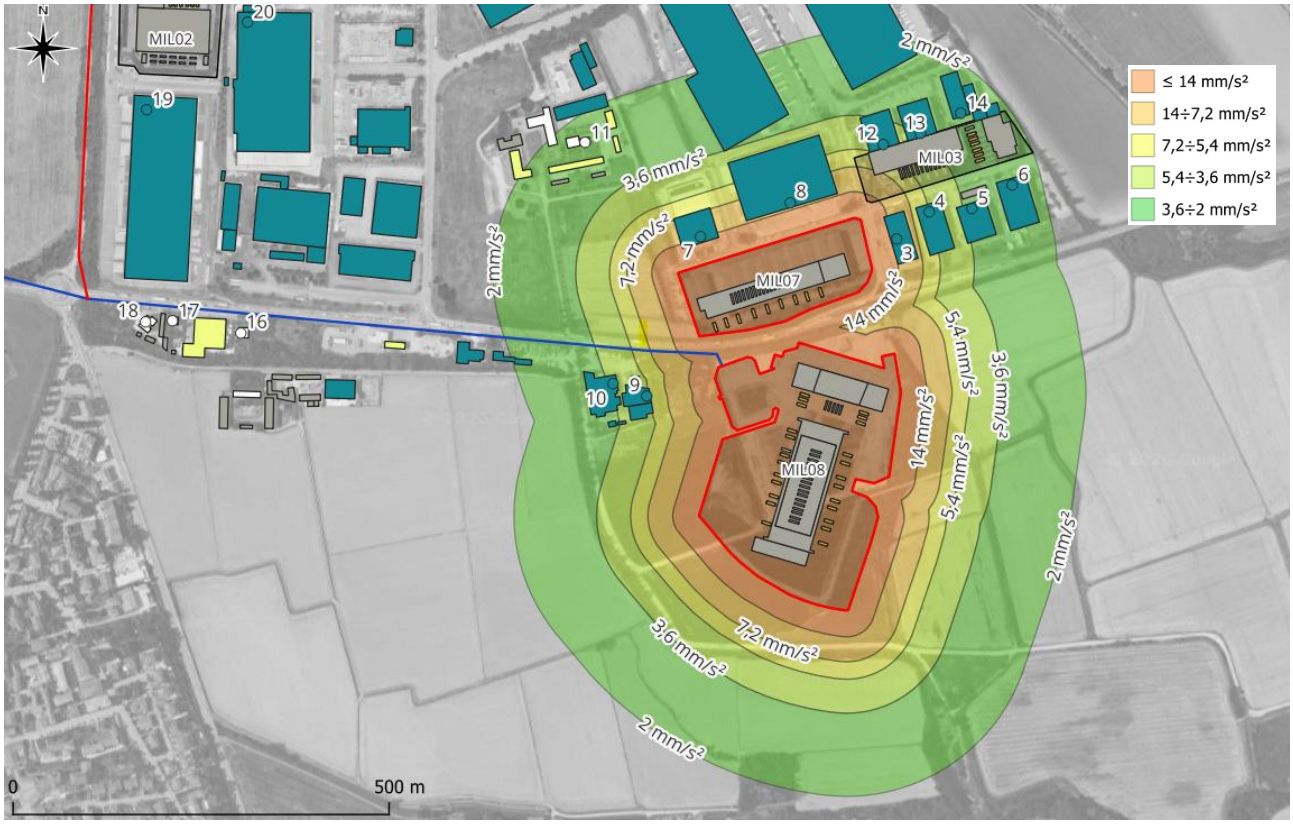



*Figura 6-7 – Ampiezza propagazione delle vibrazioni – Sc.01*

Al fine di fornire un quadro più dettagliato dell'impatto vibrazionale, nella tabella seguente sono riportati i range dei valori previsionali stimati presso i ricettori considerati nella presente valutazione. Tali valori consentono il confronto con i limiti di riferimento applicabili.

| Scenario 01 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nome** | **Dest. D'uso** | **Distanza area cantiere m** | **Limite diurno mm/s²** | **Valore vibrazioni al ricettore mm/s²** | **Confronto con il limite del periodo diurno** |
| R3 | Produttiva | 40,0 | 14 | 12,3 | entro il limite |
| R7 | Produttiva | 37,0 | 14 | 13,2 | entro il limite |
| R8 | Produttiva | 45,4 | 14 | 10,8 | entro il limite |
| R9 | Produttiva | 94,3 | 14 | 5,2 | entro il limite |
| R10 | Produttiva | 131,0 | 14 | 3,7 | entro il limite |
| R11 | Residenziale | 121,1 | 7,2 | 4,1 | entro il limite |

Nell'ambito del presente scenario, dall'analisi dei livelli vibrazionali generati e dei valori previsionali riportati in tabella, si rileva che, durante le lavorazioni svolte nel periodo diurno, **non sono attesi superamenti dei limiti di riferimento presso i ricettori considerati**.

### *6.3.4.2 Scenario 2 – Costruzione e allestimento dei fabbricati + Allestimento impianti esistenti*

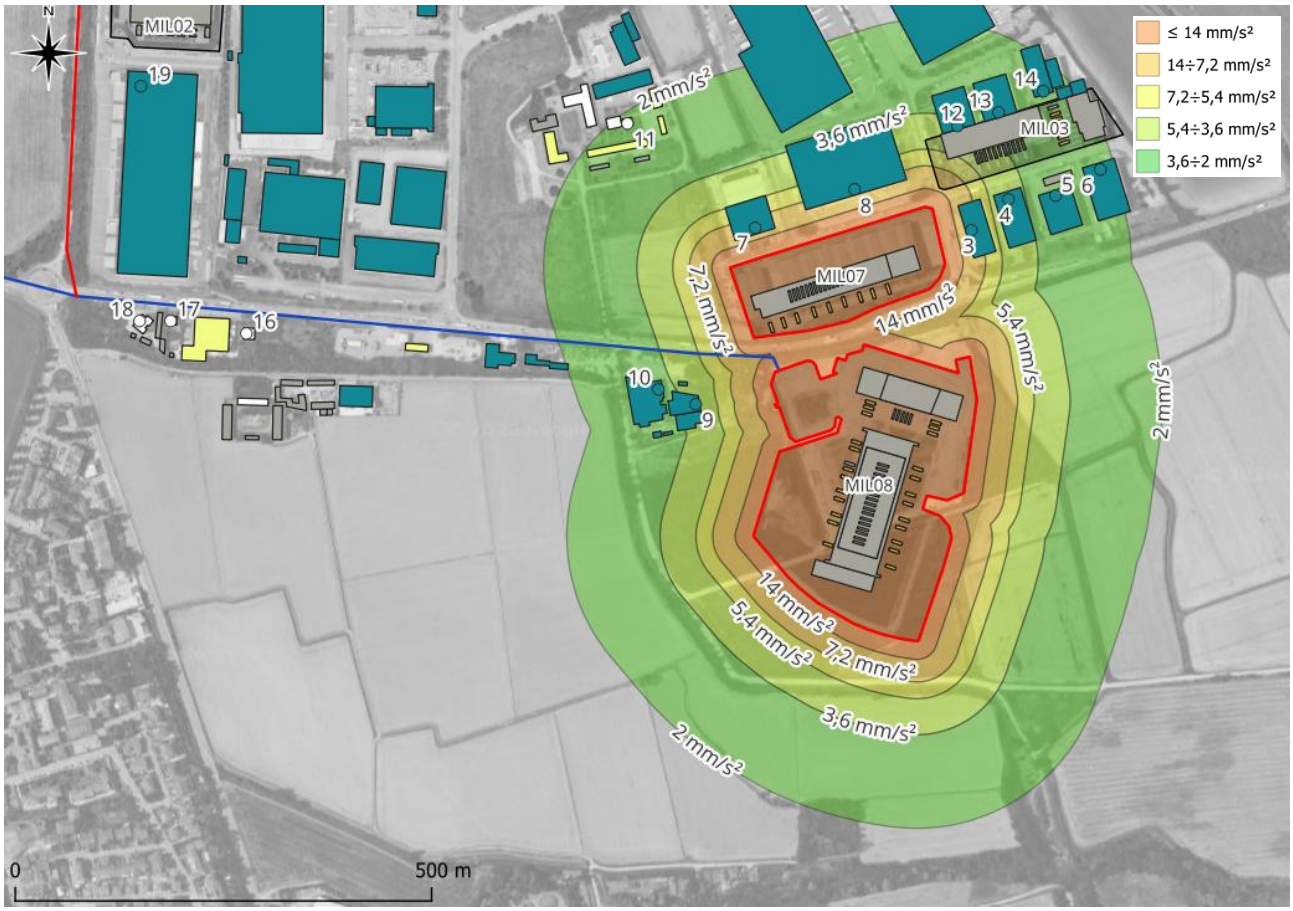



*Figura 6-8 – Ampiezza propagazione delle vibrazioni – Sc.02*

Al fine di fornire un quadro più dettagliato dell'impatto vibrazionale, nella tabella seguente sono riportati i range dei valori previsionali stimati presso i ricettori considerati nella presente valutazione. Tali valori consentono il confronto con i limiti di riferimento applicabili.

| Scenario 02 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nome** | **Dest. D'uso** | **Distanza area cantiere m** | **Limite diurno mm/s²** | **Valore vibrazioni al ricettore mm/s²** | **Confronto con il limite del periodo diurno** |
| R3 | Produttiva | 40,0 | 14 | 8,6 | entro il limite |
| R7 | Produttiva | 37,0 | 14 | 9,1 | entro il limite |
| R8 | Produttiva | 45,4 | 14 | 7,7 | entro il limite |

| Scenario 02 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nome** | **Dest. D'uso** | **Distanza area cantiere m** | **Limite diurno mm/s²** | **Valore vibrazioni al ricettore mm/s²** | **Confronto con il limite del periodo diurno** |
| R9 | Produttiva | 94,3 | 14 | 4,2 | entro il limite |
| R10 | Produttiva | 131,0 | 14 | 3,1 | entro il limite |
| R11 | Residenziale | 121,1 | 7,2 | 3,4 | entro il limite |

Nell'ambito del presente scenario, dall'analisi dei livelli vibrazionali generati e dei valori previsionali riportati in tabella, si rileva che, durante le lavorazioni svolte nel periodo diurno, **non sono attesi superamenti dei limiti di riferimento presso i ricettori considerati**.

### *6.3.4.3 Scenario 3 – Costruzione cavidotto*

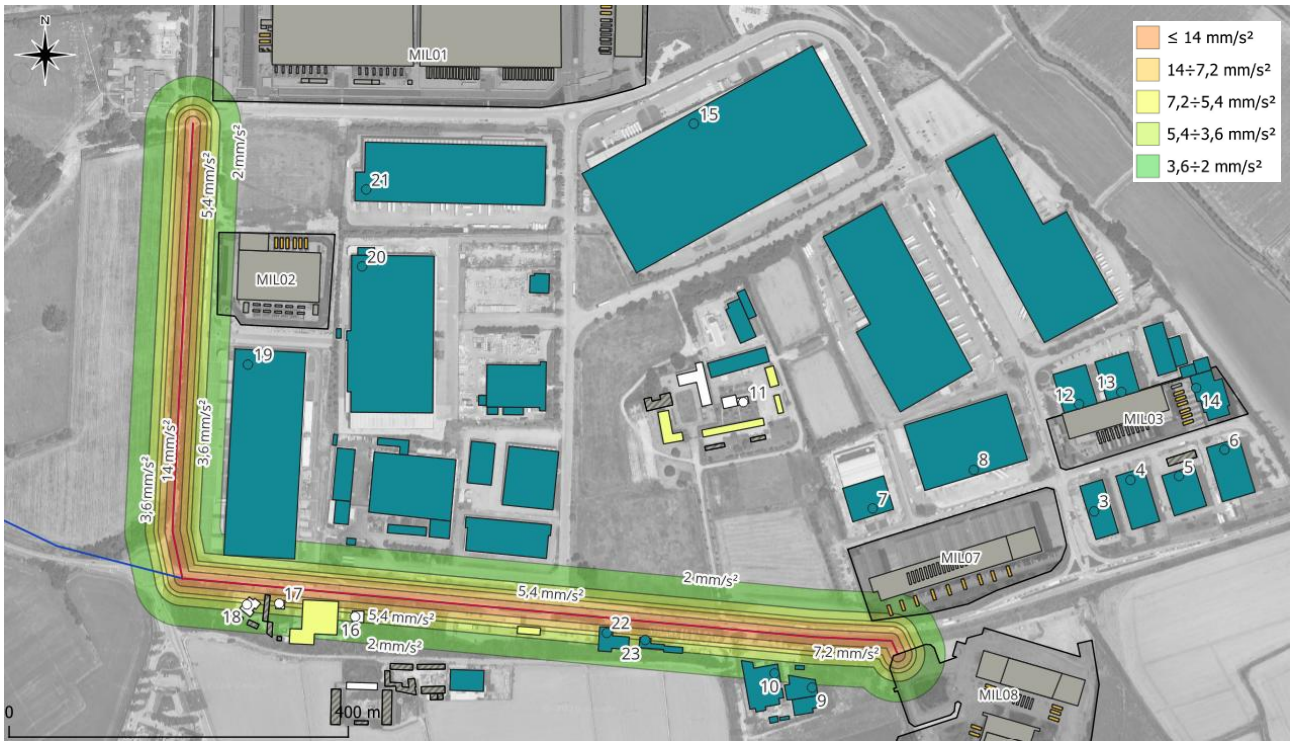



*Figura 6-9 – Ampiezza propagazione delle vibrazioni – Sc.03*

Al fine di fornire un quadro più dettagliato dell'impatto vibrazionale, nella tabella seguente sono riportati i range dei valori previsionali stimati presso i ricettori considerati nella presente valutazione. Tali valori consentono il confronto con i limiti di riferimento applicabili.

| Scenario 03 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nome** | **Dest. D'uso** | **Distanza area cantiere m** | **Limite diurno mm/s²** | **Valore vibrazioni al ricettore mm/s²** | **Confronto con il limite del periodo diurno** |
| R9 | Produttiva | 59,7 | 14 | 1,9 | entro il limite |
| R10 | Produttiva | 47,2 | 14 | 2,4 | entro il limite |
| R16 | Residenziale | 25,9 | 7,2 | 4,5 | entro il limite |
| R17 | Residenziale | 18,2 | 7,2 | 6,6 | entro il limite |
| R18 | Residenziale | 22,9 | 7,2 | 5,2 | entro il limite |
| R19 | Produttiva | 79,2 | 14 | 1,4 | entro il limite |
| R22 | Produttiva | 17,0 | 14 | 7,1 | entro il limite |
| R23 | Produttiva | 22,0 | 14 | 5,4 | entro il limite |

Nell'ambito del presente scenario, dall'analisi dei livelli vibrazionali generati e dei valori previsionali riportati in tabella, si rileva che, durante le lavorazioni svolte nel periodo diurno, **non sono attesi superamenti dei limiti di riferimento presso i ricettori considerati**.

### *6.3.5 Misure di prevenzione e mitigazione*

Poiché la valutazione previsionale non evidenzia superamenti dei limiti di riferimento, non si rendono necessarie specifiche misure di mitigazione. Tuttavia, nell'ottica di minimizzare ulteriormente gli impatti vibrazionali, si riportano di seguito alcune buone pratiche gestionali finalizzate a contenere le vibrazioni generate durante le attività di cantiere, quali, ad esempio, mantenere gli autocarri in stazionamento con motore acceso il più possibile lontano dai ricettori.

Qualora ritenuto opportuno in fase esecutiva, l'Appaltatore potrà adottare eventuali misure di dettaglio sulla base delle caratteristiche dei macchinari effettivamente impiegati e dell'organizzazione del cantiere, al fine di minimizzare ulteriormente gli impatti vibrazionali. A titolo indicativo, si raccomanda di:

- rispettare la norma di riferimento ISO 2631 con i livelli massimi ammissibili delle vibrazioni sulle persone;
- contenere i livelli vibrazionali generati dai macchinari agendo sulle modalità di utilizzo dei medesimi e sulla loro tipologia;
- definire le misure di dettaglio basandosi sulle caratteristiche dei macchinari da lui effettivamente impiegati;
- posizionare impianti fissi lontano dai ricettori sensibili;
- mantenere la buona cura delle aree di cantiere, come conservare in buono stato le strade di cantiere ed eliminare avvallamenti o buche;
- valutare, qualora ritenuto opportuno, la redazione di un "Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere" (PGIVC), da integrare nel "Sistema di Gestione Ambientale di Cantiere".

Lo scopo ed i contenuti attesi nel "Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere", come indicato nell'allegato C della norma UNI 9614:2017, sono di seguito esposti.

Il "Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere" (PGIVC) è un elaborato, il quale permette di valutare preventivamente il potenziale impatto; di dare evidenza preventiva delle relative modalità di gestione analizzando le singole lavorazioni e i relativi processi gestionali. Il documento si configura come uno strumento per controllare l'effettiva adozione di strategie di gestione dell'impatto e per supportare il monitoraggio delle attività di cantiere e l'eventuale gestione di segnalazioni o criticità.

Il piano può anche essere contenuto all'interno del Piano di Gestione Ambientale di cantiere. I contenuti analizzati nel piano devono quindi concorrere all'obbiettivo di controllare e limitare i livelli di vibrazione.

Si riporta di seguito una lista dei contenuti attesi in un piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere (PGIVC). I contenuti evidenziati di seguito dovrebbero permettere di avere un documento che esplicita tutte le situazioni di impatto e le eventuali misure mitigative o di attenzione che verranno messe in atto.

Come già ricordato gli obbiettivi del PGIVC sono, per quanto ragionevolmente praticabile, controllare e limitare i livelli di vibrazione così che le residenze interessate o altri ricettori sensibili siano protetti da eccessivi livelli di vibrazione associati alle attività di cantiere.

Al fine di valutare gli effetti, il PGIVC potrà contenere le informazioni dettagliate sui ricettori prossimi al cantiere e potenzialmente interessati dal disturbo vibrazionale. Per ogni ricettore dovrebbe essere specificata la destinazione d'uso dell'edificio, le attività in esso svolte, le caratteristiche costruttive e le condizioni di conservazione, nonché informazione delle ore per le quali dovrebbe essere rispettata la quiete o il riposo. Queste informazioni saranno utili per definire una classifica di sensibilità dei ricettori da attenzionare durante il susseguirsi delle fasi di lavoro.

In merito alle lavorazioni il PGIVC dovrebbe contenere una loro lista, i relativi macchinari previsti ed il potenziale grada d'impatto sui ricettori più prossimi.

Le considerazioni sugli effetti sui ricettori dovrebbero essere supportate da una stima quantitativa dell'impatto per conoscere quale sarà il disturbo e per quanto durerà basando lo studio su valori numerici bibliografici o da misure di situazioni analoghe avvenute in cantiere.

Il PGIVC dovrebbe contenere un piano della comunicazione al fine di coinvolgere i ricettori sulle possibili criticità nelle fasi di lavoro da attuare prima dell'inizio delle attività di cantiere. Fornire una adeguata informazione alla popolazione interessata può permettere che le persone tollerino più facilmente le vibrazioni indotte. Le informazioni che dovrebbero essere trasmesse sono relative almeno ai livelli di disturbo attesi, alla durata delle lavorazioni e evidenziare che le vibrazioni non saranno tali da creare danni permanenti alle strutture.

Le comunicazioni dovrebbero essere fatte con sufficiente anticipo rispetto alle lavorazioni, in maniera chiara, completa ed efficace, così da esser certi che ogni potenziale ricettore impattato sia reso cosciente del disturbo.

All'inizio di ciascuna delle tipologie di lavorazioni e in particolare per quelle più disturbanti dovrebbero essere eseguite indagini vibrazionali. Le misure avranno lo scopo sia di validare le stime d'impatto sia di valutare il reale valore immesso dalle lavorazioni. Speciale attenzione deve essere dedicata ai ricettori sensibili e per quelli per i quali è previsto il riposo diurno. All'interno del piano dovrebbero essere quindi indicate le modalità di misura ed in riferimento alla UNI 9614:2017.

In relazione alle mitigazioni propriamente dette per un cantiere non esistono mitigazioni permanenti economicamente sensate o tecnicamente conseguibili senza arrecare possibili ulteriori fenomeni vibratori o aggiunta di lavorazioni. Tuttavia, il piano dovrebbe precisare:

- se e quando verranno previste interruzioni per il rispetto del riposo da mettere in relazione con la tipologia di ricettore;
- se sono state valutate alterative fra le modalità esecutive, al fine di ridurre il livello generato;
- se gli impianti fissi sono stati posizionali lontano da ricettori sensibili;
- qualunque altra buona cura, come per esempio evitare un utilizzo improprio dei macchinari e conservare in buono stato le strade di cantiere per eliminare avvallamenti o buche e limitare le cadute di oggetti dall'alto;

AI fine di garantire il corretto rispetto delle procedure indicate nel PGIVG dovrebbe essere previsto un piano dei controlli e degli audit interni allo scopo di garantire che l'attenzione al controllo del disturbo e dei retativi effetti sia costante per la durata del cantiere. I controlli devono riguardare il rispetto di:

- piani di monitoraggio;
- piano della comunicazione e verifica della sua efficacia;
- implementazione delle mitigazioni previste comprese anche le buone pratiche di cantiere.

# 7 VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO VIBRAZIONALE – FASE DI ESERCIZIO

## 7.1 Introduzione

Alla luce del citato quadro normativo di riferimento, si procederà di seguito alla valutazione dei possibili impatti derivanti dagli impianti esterni di prevista installazione, nella fase di esercizio e di test dell'impianto di emergenza.

In dettaglio, saranno valutate le seguenti condizioni di esercizio:

- funzionamento in condizioni ordinarie (diurno e notturno);
- funzionamento in condizioni di manutenzione.

Come evidenziato in precedenza, la condizione di funzionamento dei generatori a pieno regime in caso di blackout non verrà valutata. In riferimento alle Linee Guida MASE D.D. VA n. 257 del 02/08/2024, tale configurazione rappresenta infatti una condizione emergenziale, non riconducibile al normale ciclo operativo dell'impianto. Pertanto, non sarà oggetto di valutazione la seguente situazione di funzionamento:

- funzionamento dei generatori a pieno regime in condizioni blackout.

Lo studio è stato condotto mediante un approccio di tipo quantitativo (mediante la generazione di apposite mappe di propagazione delle vibrazioni e tabelle riepilogative dei risultati) per quanto riguarda la valutazione dei livelli di vibrazioni previsti ai ricettori presenti nelle aree limitrofe al sito oggetto di studio.

Le vibrazioni previste nell'area sono state valutate considerando, a fini cautelativi, i regimi di funzionamento degli impianti ai quali sono associate le massime emissioni di vibrazioni.

## 7.2 Descrizione delle sorgenti di vibrazioni connesse all'opera

Gli edifici del polo tecnologico di Siziano sono progettati principalmente per ospitare Data Center, strutture dedicate alla gestione, elaborazione e stoccaggio dei dati digitali. Questi spazi, noti come Sale Dati, costituiscono il cuore del processo digitale e devono garantire continuità operativa e sicurezza dei dati.

L'attività del sito è a ciclo continuo e, ai fini della presente valutazione, si considera operativo sia in periodo diurno sia in periodo notturno.

Dal punto di vista delle vibrazioni indotte dal funzionamento degli impianti in progetto, il sistema può essere suddiviso nei seguenti tre macro ambiti:

- chiller installati a terra e in copertura ai corpi di fabbrica dei data center;
- parco generatori di energia elettrica di emergenza;
- viabilità pertinente ai data center.

### 7.2.1 Chiller

Le emissioni vibrazionali del corpo di fabbrica del data center potrebbero essere determinate dal funzionamento dei gruppi frigoriferi (chiller), in quanto all'interno delle strutture non sono previsti dispositivi di massa in movimento.

#### 7.2.1.1 Valutazione della trasmissione di vibrazioni da chiller installati in copertura

L'installazione di gruppi frigoriferi (chiller) in copertura a edifici industriali comporta, in condizioni progettuali ordinarie, la generazione di livelli di vibrazione trascurabili, o nulli, alla base dell'edificio.

I chiller costituiscono macchine rotanti a velocità relativamente contenuta, generalmente equipaggiate con compressori scroll, vite o centrifughi e ventilatori assiali. Tali componenti generano vibrazioni meccaniche caratterizzate da frequenze prevalentemente comprese tra alcune decine e alcune centinaia di Hz, con ampiezze limitate.

In merito alla propagazione strutturale, la trasmissione delle vibrazioni verso i livelli inferiori dell'edificio risulta fortemente attenuata per i seguenti motivi principali:

- entità delle sorgenti vibrazionali;
- disaccoppiamento meccanico;
- smorzamento e dispersione strutturale;
- percorso di propagazione verticale.

Entità delle sorgenti vibrazionali: i livelli di vibrazione generati da chiller correttamente installati risultano generalmente dell'ordine di alcuni decimi di mm/s in velocità vibratoria sulla struttura di appoggio immediata, valori che tendono a diventare trascurabili al supporto antivibrante. In termini di accelerazione si può stimare generalmente, in prossimità dei supporti antivibranti, valori già trascurabili e ridotti all'ordine di alcune decine di $mm/s^2$.

Disaccoppiamento meccanico: i chiller sono normalmente installati su supporti antivibranti elastomerici o molle, progettati per introdurre una frequenza propria del sistema di supporto significativamente inferiore alle frequenze di eccitazione della macchina. Ciò determina un elevato fattore di isolamento dinamico (tipicamente >90%).

Smorzamento e dispersione strutturale: le vibrazioni che eventualmente entrano nella struttura dell'edificio subiscono una rapida attenuazione lungo gli elementi strutturali (solai, travi e pilastri) a causa dei fenomeni di smorzamento intrinseco dei materiali, proporzionalità fra le masse e delle discontinuità strutturali.

Percorso di propagazione verticale: il percorso tra la copertura e fondazione dell'edificio implica l'attraversamento di numerosi elementi strutturali. La trasmissione di vibrazione lungo tale percorso determina una riduzione progressiva dell'ampiezza vibratoria, con decadimento tipicamente superiore a diversi ordini di grandezza.

In riferimento alle considerazioni esposte, si può ritenere nella valutazione che i chiller installati in copertura, qualora correttamente posati su sistemi antivibranti e collegati mediante giunti flessibili alle reti

impiantistiche, non costituiscano una sorgente di vibrazione alla base dell'edificio, né producano livelli vibrazionali tali da determinare effetti percettibili e/o di propagazione nel terreno.

#### *7.2.1.2 Valutazione della trasmissione di vibrazioni da chiller su struttura di tipo gantry*

Analoghe considerazioni possono essere estese anche ai gruppi frigoriferi previsti in alternativa su strutture di supporto di tipo gantry, non direttamente solidali con le strutture principali dell'edificio. In tali configurazioni, la catena di trasmissione dinamica risulta caratterizzata da un ulteriore stadio di disaccoppiamento e da un incremento della dissipazione energetica, con conseguente riduzione del coefficiente di trasmissibilità vibrazionale complessivo del sistema sorgente–struttura. Le vibrazioni indotte risultano pertanto fortemente attenuate già in prossimità del sistema di supporto, con decadimento spaziale rapido e perdita di coerenza energetica del segnale vibratorio.

Ne consegue che la propagazione delle azioni dinamiche verso l'ambiente esterno avviene con livelli ampiamente inferiori alle soglie tipicamente considerate per la percezione umana e per la valutazione dell'interferenza su ricettori sensibili, risultando il contributo vibrazionale ai punti esterni trascurabile ai fini della valutazione degli effetti indotti.

### *7.2.2 Parco generatori di energia elettrica a terra*

I Data Center del CAMPUS necessitano di una fornitura permanente di energia elettrica per il proprio funzionamento assicurata dalla connessione elettrica sopra descritta. Per far fronte a situazioni di emergenza, quale un blackout della rete elettrica nazionale, sono stati previsti complessivamente 76 gruppi elettrogeni di emergenza alimentati a gasolio, suddivisi nei diversi Data Center del CAMPUS.

Tali generatori entreranno in funzione solo in caso di blackout catastrofico e saranno eserciti "in isola" rispetto alla rete elettrica e in modalità di funzionamento automatico non sorvegliato. Dunque, in situazione normale esercizio del Data Center saranno mantenuti spenti.

Periodicamente tali generatori saranno sottoposti a rotazione ad una prova di avviamento e di funzionamento al fine di verificarne l'efficienza e la sequenza delle relative fasi operative. Tali prove interesseranno mensilmente la totalità dei generatori installati e avranno la durata di circa 20 minuti di funzionamento a pieno carico, esclusivamente in periodo diurno.

L'esercizio del parco dei generatori è pertanto determinato dalle fasi previste di test di funzionamento e alla fase emergenziale di blackout. Quest'ultima fase, per le precedenti motivazioni, non sarà valutata essendo una fase di emergenza.

#### *7.2.2.1 Valutazione dello spettro di emissione vibrazionale di generatori elettrici*

I gruppi elettrogeni alimentati a gasolio installati all'interno di box insonorizzati, nelle aree previste nei pressi degli edifici costituenti il Data Center CAMPUS, sono sorgenti vibrazionali riconducibili, per principio di funzionamento e caratteristiche dinamiche, alle macchine con motore endotermico diesel accoppiato a masse rotanti.

Dal punto di vista meccanico il gruppo elettrogeno è costituito da:

- motore diesel pluricilindrico;
- alternatore elettrico accoppiato;
- sistemi ausiliari (ventilazione, raffreddamento);
- basamento con supporti antivibranti.

Le vibrazioni generate derivano principalmente dalle forze di combustione e dalle masse rotanti del motore, con componenti spettrali concentrate alle frequenze legate alla velocità di rotazione e ai suoi multipli, nonché dall'alternatore.

In modo analogo, anche un autocarro è dotato di motore diesel con caratteristiche costruttive e cinematismi assimilabili (architettura pluricilindrica e regime di rotazione analogo). Ne deriva che lo spettro di eccitazione primaria delle vibrazioni prodotte dal motore presenta frequenze dominanti comparabili, generalmente comprese nell'intervallo 20–100 Hz, con armoniche superiori legate agli ordini di combustione.

Dal punto di vista della trasmissione delle vibrazioni al suolo, i due sistemi presentano inoltre analogie funzionali nei meccanismi di isolamento dinamico:

- nell'autocarro il contatto con il suolo avviene tramite pneumatici, che introducono una significativa capacità di isolamento elastico e smorzamento;
- nel caso dei gruppi elettrogeni installati in box, il basamento è normalmente appoggiato su supporti antivibranti elastomerici o a molla, progettati proprio per ridurre la trasmissione delle vibrazioni alla struttura e/o al terreno.

Pertanto, sia nel caso dell'autocarro sia nel caso del gruppo elettrogeno, il sistema complessivo sorgente–isolamento può essere schematizzato come massa eccitata su supporto elastico, con un comportamento dinamico comparabile in termini di filtraggio delle componenti vibrazionali verso il suolo.

In aggiunta, la presenza del box insonorizzato contribuisce a incrementare ulteriormente lo smorzamento globale del sistema e a ridurre l'accoppiamento diretto con l'ambiente esterno.

In riferimento alle analogie valutate:

- nel principio di generazione delle vibrazioni (motore diesel pluricilindrico);
- nello spettro di eccitazione principale (frequenze associate al regime di rotazione e agli ordini di combustione);
- nei meccanismi di isolamento elastico verso il suolo (pneumatici nel caso dell'autocarro, supporti antivibranti nel caso del gruppo elettrogeno);

risulta ragionevole assumere che lo spettro di emissione vibrazionale di un generatore elettrico diesel installato in box insonorizzato sia assimilabile, in prima approssimazione, a quello prodotto dal passaggio o dal funzionamento di un autocarro.

Tuttavia, al fine di mantenere un approccio prudenziale nella valutazione delle vibrazioni, si assume che un singolo generatore elettrico alimentato a gasolio possa produrre uno spettro vibrazionale equivalente a

quello generato da tre autocarri, così da introdurre un adeguato margine cautelativo nelle successive analisi di propagazione e negli eventuali confronti con i livelli di riferimento ambientali.

Nella tabella e nel grafico seguenti è riportata la caratterizzazione della sorgente vibrazionale relativa all'autocarro assimilato ai generatori, espressa in mm/s², utilizzata per le successive valutazioni di propagazione e per il confronto con i livelli di riferimento.

| L.1) FUNZIONAMENTO GENERATORI | | Frequenza (Hz) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mezzi attivi | D. (m) | 1 | 1,25 | 1,6 | 2 | 2,5 | 3,15 | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
| Generatore elettrico diesel assimilato ad Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari) | 5 | 0,32 | 0,20 | 0,19 | 0,12 | 0,20 | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,30 | 0,98 | 1,88 | 9,89 | 13,34 | 16,79 | 12,59 | 12,02 | 28,84 | 51,88 | 8,41 |

Di seguito è riportato il grafico dello spettro della sorgente vibrazionale relativa all'esercizio dei generatori elettrici, assimilati ad autocarro, con confronto con la curva di percezione secondo UNI 9614:2017 per l'asse Z.

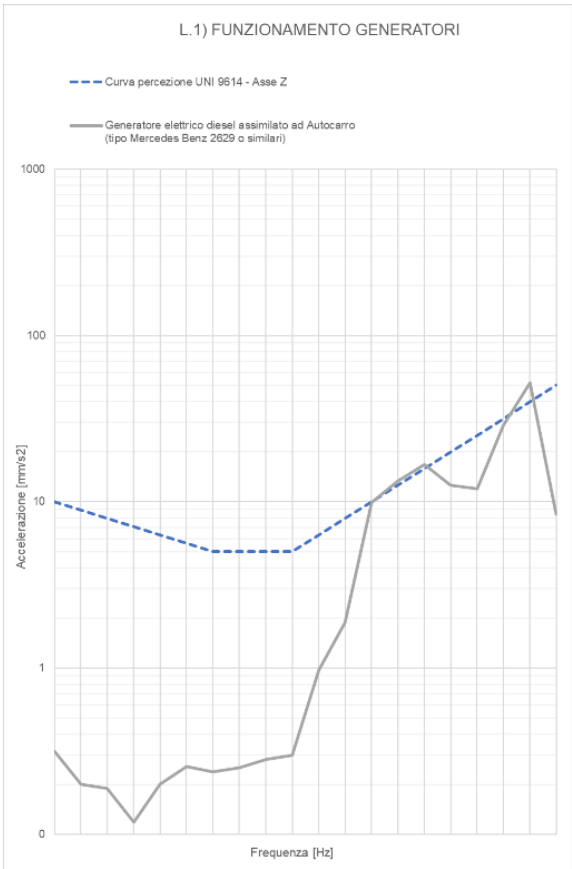



*Figura 7-1 – Spettro delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z*

#### *7.2.2.2 Valutazione della propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio dei generatori*

Dall'analisi della propagazione dello spettro, per ogni distanza dalla base dei generatori è possibile calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli delle singole frequenze. In questo modo è stata determinata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza. Nella figura seguente è riportata la propagazione dello spettro nel terreno per la situazione di esercizio dei generatori elettrici.

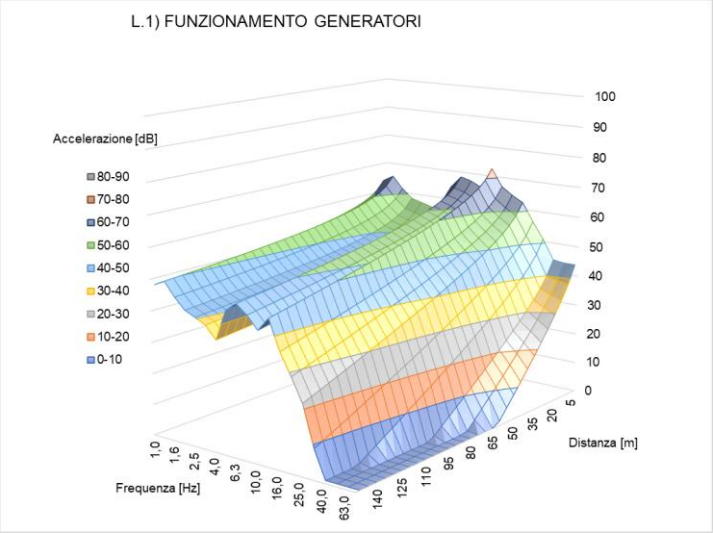



*Figura 7-2 – Propagazione dei livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza*

#### *7.2.2.3 Previsione dell'impatto vibrazionale in fase di esercizio dei generatori*

Come già discusso nel capitolo precedente, il modello di propagazione adottato descrive i fenomeni di trasmissione delle vibrazioni nel terreno, assunto omogeneo e isotropo all'interno dei singoli strati, senza una modellazione esplicita dell'interazione terreno–struttura. In presenza di edifici, i sistemi di fondazione possono determinare una variazione dei livelli di vibrazione rispetto a quelli presenti nel terreno circostante, generalmente con effetti di attenuazione; tuttavia, in alcuni casi possono verificarsi fenomeni di amplificazione legati alla risonanza strutturale degli elementi edilizi, in particolare dei solai. Tali effetti locali possono essere valutati in maniera approssimata mediante relazioni empiriche che correlano i livelli di vibrazione nel terreno con quelli all'interno degli edifici.

In relazione alla previsione secondo la UNI 9614:2017, nelle seguenti considerazioni sull'entità dell'impatto vibrazionale presso i ricettori si assumono valori limite pari a 7,2 mm/s² per gli edifici residenziali (periodo diurno) e 14 mm/s² per edifici ad uso produttivo/servizi/uffici/commericlae. Ai fini della valutazione dei livelli all'interno degli edifici, ai valori stimati viene applicato un fattore di possibile sovramplificazione strutturale pari a +5 dB, assunto cautelativamente per tutti i ricettori.

Anche in questo caso, il Vettore Residuo è stato determinato sulla base della misura effettuata nell'ambito del presente progetto. Nel modello previsionale è stato pertanto adottato un valore pari a **0,2 mm/s²**, corrispondente al valore rilevato in sede di misura e rappresentativo delle condizioni locali.

Dall'analisi della propagazione spaziale del valore complessivo ponderato dell'accelerazione (Vettore Immissione) per gli scenari individuati, e tenendo conto del Vettore Residuo, viene quindi determinato il Vettore Sorgente. Di seguito l'analisi della funzione di trasferimento individuata per la fase di esercizio dei generatori elettrici.

**L.1 – Funzionamento generatori.** Per il presente scenario di esercizio, il limite relativo al periodo diurno per i ricettori a destinazione residenziale, pari a 7,2 mm/s², considerando i possibili effetti di amplificazione indotti dagli edifici (assunti pari a +5 dB), risulta raggiunto a una distanza di circa 16 m dalla sorgente. Per i ricettori a destinazione commerciale/servizi/ufficio, per i quali il limite di riferimento è pari a 14 mm/s², la medesima analisi individua una distanza di circa 7 m.

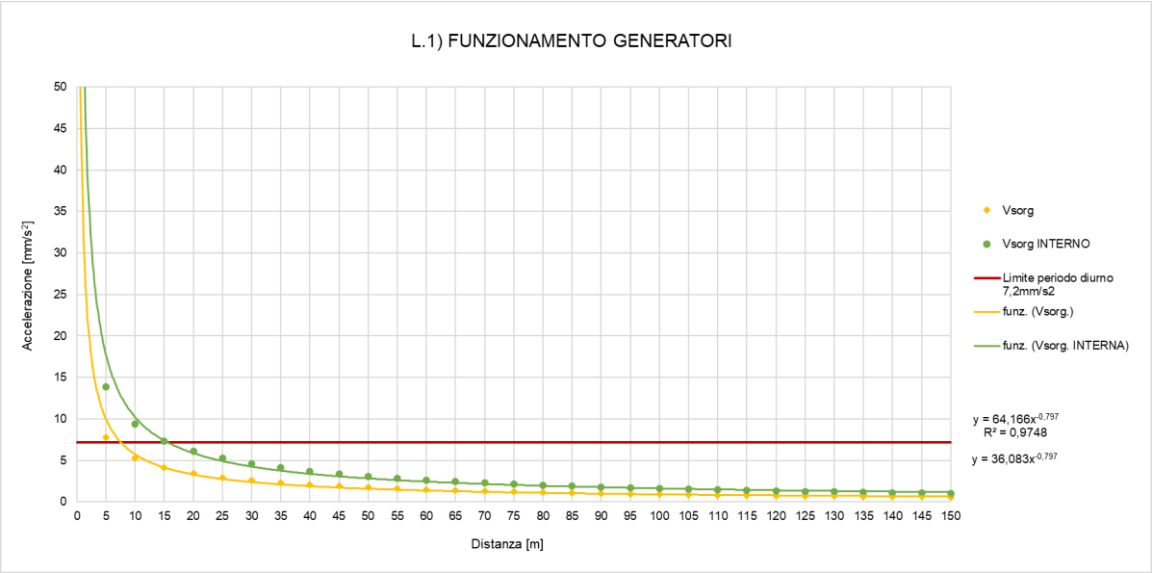



*Figura 7-3 – Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali in fase di esercizio dei generatori*

Di seguito la tabella con le distanze limite raggiunte per i limiti indicati dalla UNI 9614:2017, in funzione delle destinazioni d'uso dell'edificio.

*Tabella 7-1 - Sintesi distanze dai singoli generatori per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti i limiti*

| Situazione | Funzione di Trasferimento | $R^2$ | Distanza in m del limite di 14 mm/s² interno a uffici | Distanza in m del limite Diurno di 7,2 mm/s² interno agli edifici residenziali | Distanza in m del limite di 5,4 mm/s² interno alle scuole | Distanza in m del limite Notturno di 3,6 mm/s² interno agli edifici residenziali | Distanza in m del limite di 2 mm/s² interno ad ospedali |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Funzionamento generatore | $y=64,166 \cdot x^{-0,797}$ | 0,98 | 7 | 16 | 22 | 37(*) | 78 |

*(*) funzionamento dei generatori non previsto attivo nel periodo*

Ai fini della valutazione della bontà della funzione di trasferimento ottenuta è stato analizzato il parametro statistico $R^2$, che assume un valore pari a 0,98. Tale valore si ritiene accettabile e consente di considerare la funzione di trasferimento come rappresentativa del fenomeno analizzato.

#### *7.2.2.4 Valutazione delle vibrazioni ai ricettori in fase di esercizio*

Ai fini della verifica dell'impatto vibrazionale durante l'esercizio dei generatori nei test, per ciascun sito del Data Center Campus sono state effettuate le valutazioni considerando il generatore installato nella postazione più prossima ai gruppi di ricettori di riferimento, distinti in funzione della destinazione d'uso (produttiva-commerciale e residenziale). Tale configurazione è stata assunta come la più gravosa in termini di emissioni vibrazionali, in quanto caratterizzata dalle minime distanze rispetto ai ricettori considerati e, pertanto, rappresentativa dello scenario di massimo impatto.

- **MIL01**:
  - **Test 1** – generatore ubicato a minor distanza dal gruppo di ricettori a destinazione residenziale (R1 ed R2);
  - **Test 2** – generatore ubicato a minor distanza dal ricettore rappresentativo della destinazione d'uso produttiva-commerciale (R15);
- **MIL02**:
  - **Test 3** – generatore ubicato a minor distanza dai ricettori a destinazione produttiva-commerciale limitrofi (R20 – R21);
- **MIL03**:
  - **Test 4** – generatore ubicato in prossimità del ricettore rappresentativo della destinazione d'uso produttiva-commerciale (R14);
- **MIL07**:
  - **Test 5** – generatore ubicato a minor distanza sia dal ricettore residenziale (R11) sia dal ricettore rappresentativo della destinazione d'uso produttiva-commerciale (R7);
- **MIL08**:
  - **Test 6** – generatore ubicato a minor distanza dai ricettori a destinazione produttiva-commerciale limitrofi (R9 ed R10).

Di seguito si riportano gli stralci planimetrici relativi a ciascun sito del Data Center Campus, con l'indicazione dei generatori considerati nelle valutazioni.

**Fase di esercizio dei generatori MIL01**

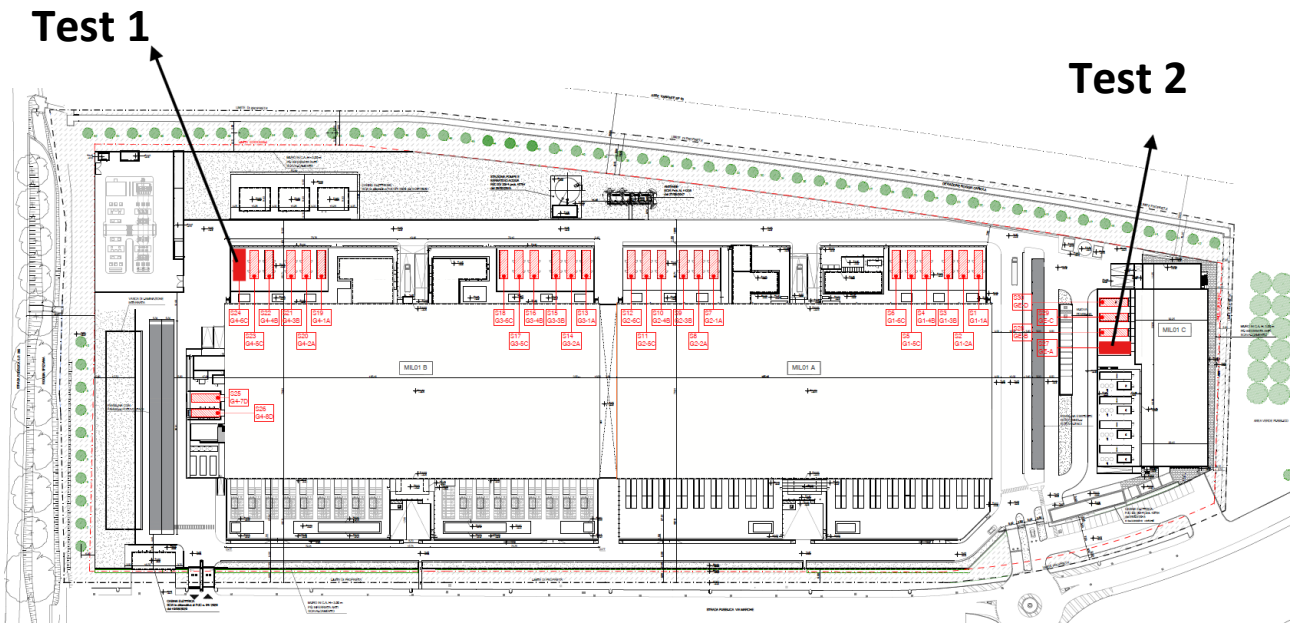



*Figura 7-4 – Ubicazione dei generatori elettrici considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL01*

**Fase di esercizio dei generatori MIL02**

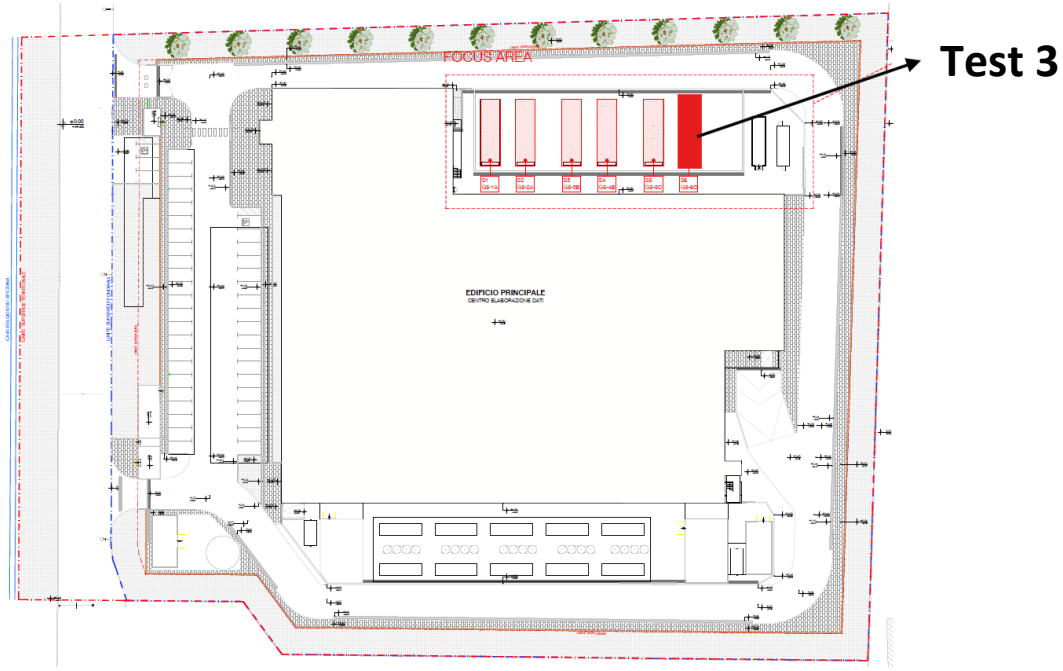



*Figura 7-5 – Ubicazione dei generatori elettrici considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL02*

## Fase di esercizio dei generatori MIL03

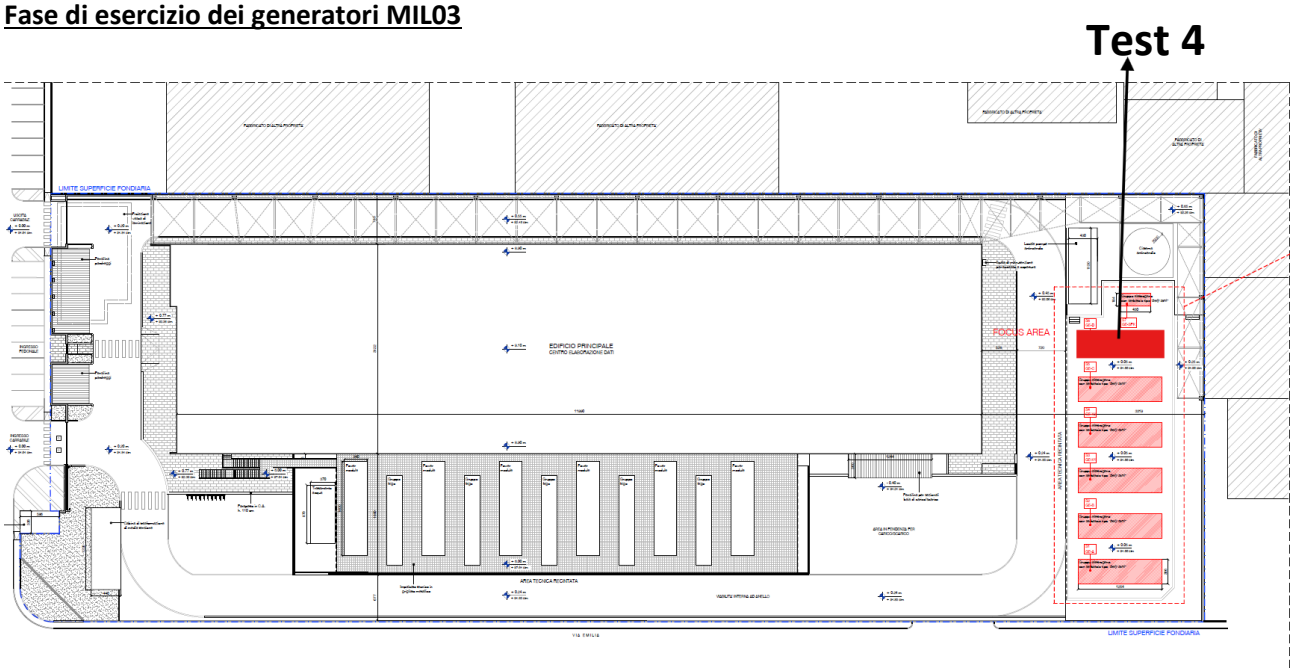



*Figura 7-6 – Ubicazione dei generatori elettrici considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL03*

## Fase di esercizio dei generatori MIL07

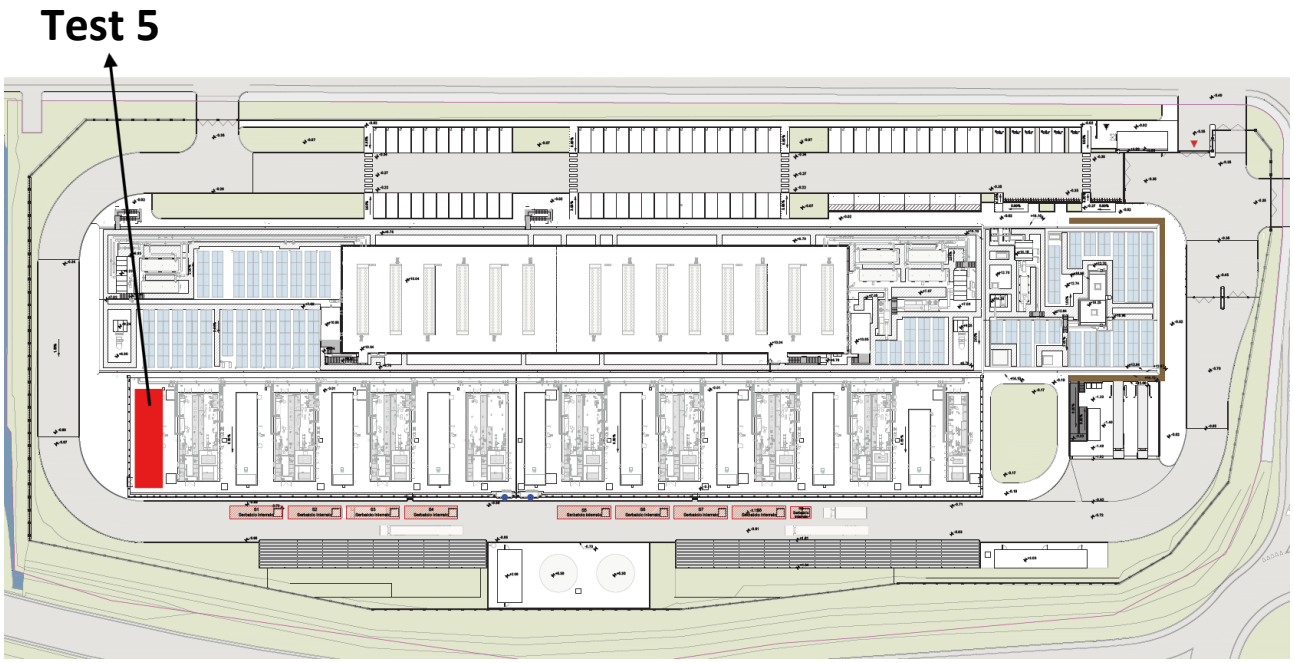



*Figura 7-7 – Ubicazione dei generatori elettrici diesel considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL07*

**Fase di esercizio dei generatori MIL08**

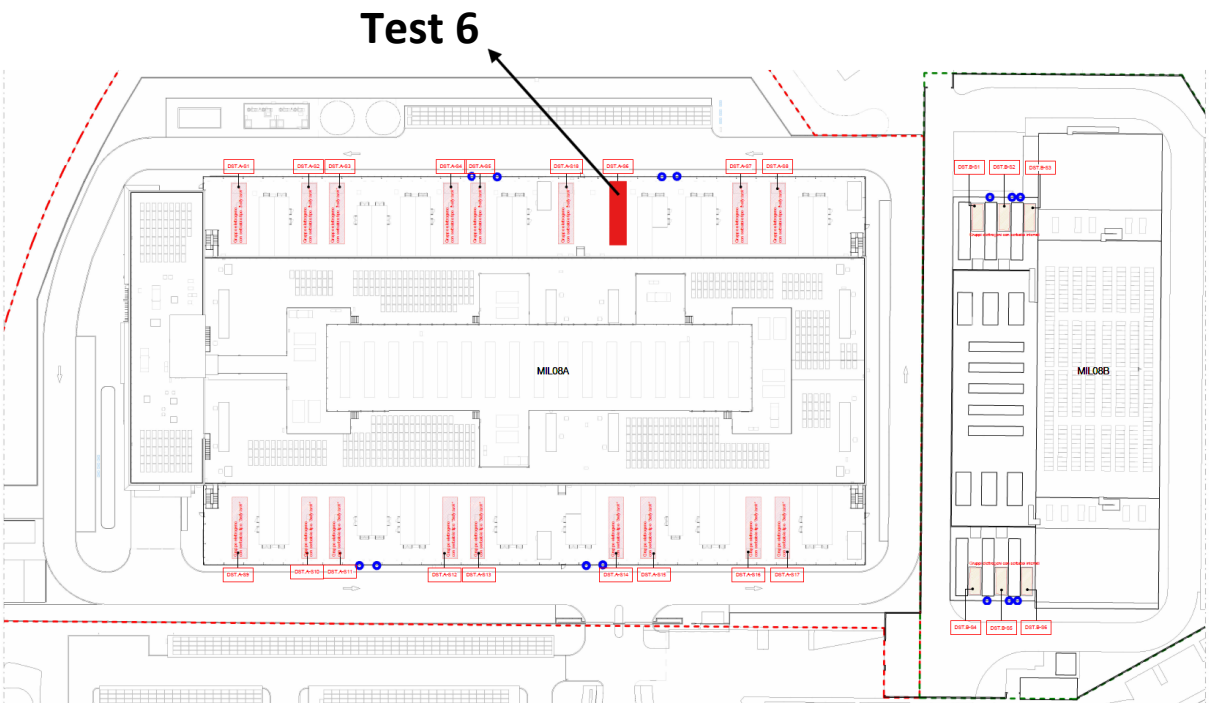



*Figura 7-8 – Ubicazione dei generatori elettrici diesel considerati nei diversi scenari di test per il sito MIL08*

Di seguito si riportano gli stralci cartografici relativi ai sei scenari di test di esercizio dei generatori considerati, con la rappresentazione delle curve isolivello delle vibrazioni. Gli elaborati consentono di inquadrare la propagazione delle vibrazioni nel contesto territoriale.

**Fase di esercizio dei generatori MIL01 – Scenario di test 1**

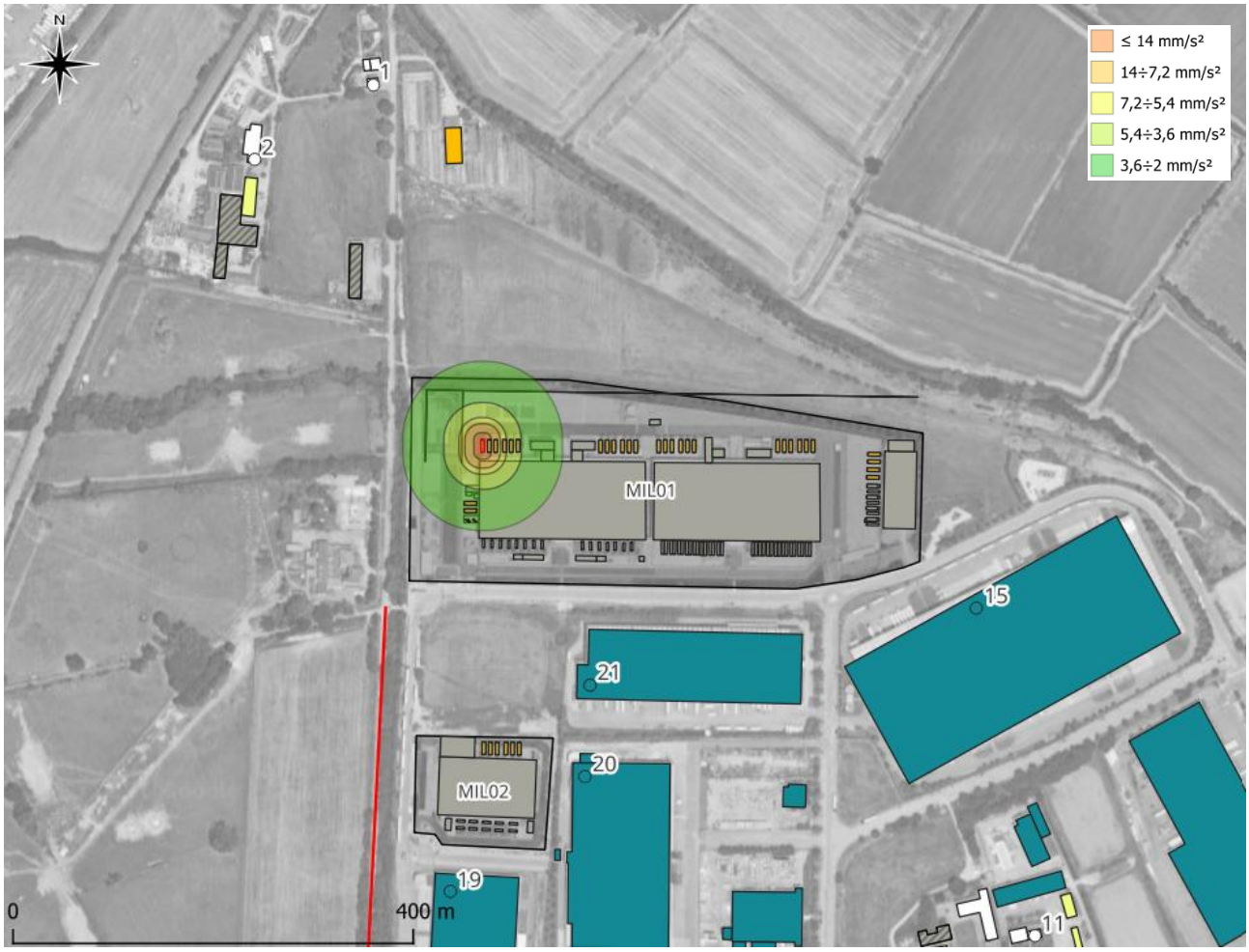



*Figura 7-9 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 1 per MIL01*

**Fase di esercizio dei generatori MIL01 – Scenario di test 2**

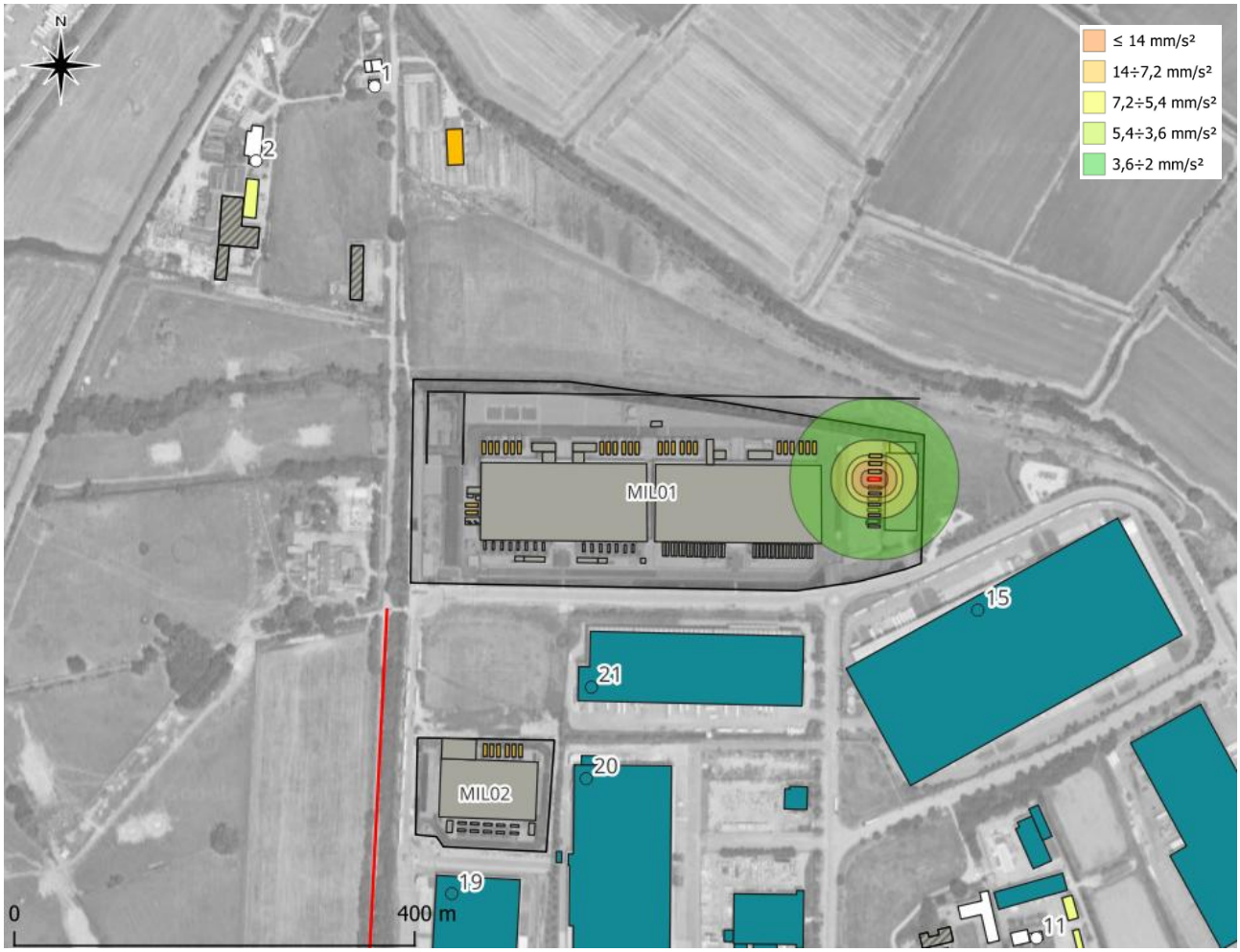



*Figura 7-10 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 2 per MIL01*

**Fase di esercizio dei generatori MIL02 – Scenario di test 3**

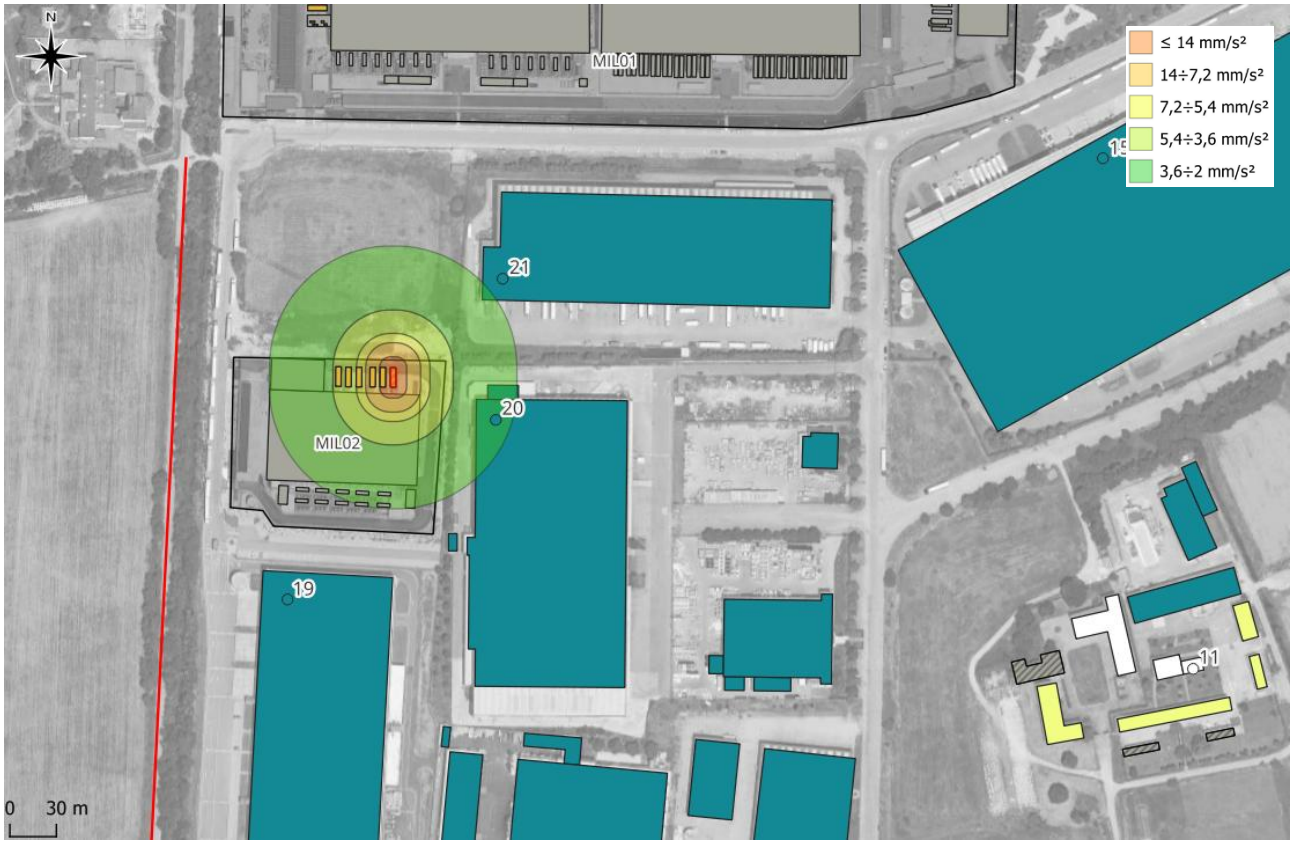



*Figura 7-11 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 3 per MIL02*

**Fase di esercizio dei generatori MIL03 – Scenario di test 4**

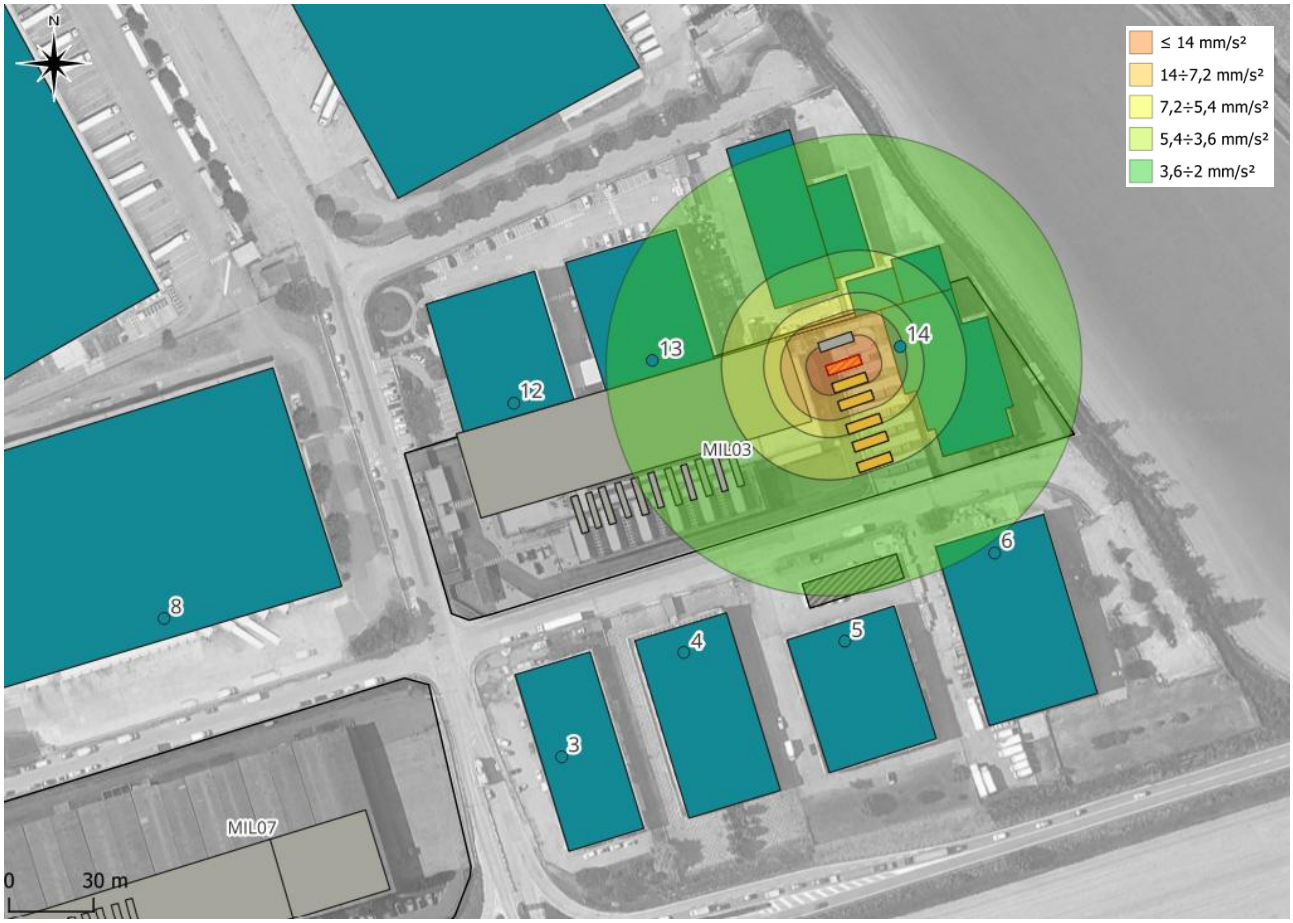



*Figura 7-12 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 4 per MIL03*

## Fase di esercizio dei generatori MIL07 – Scenario di test 5

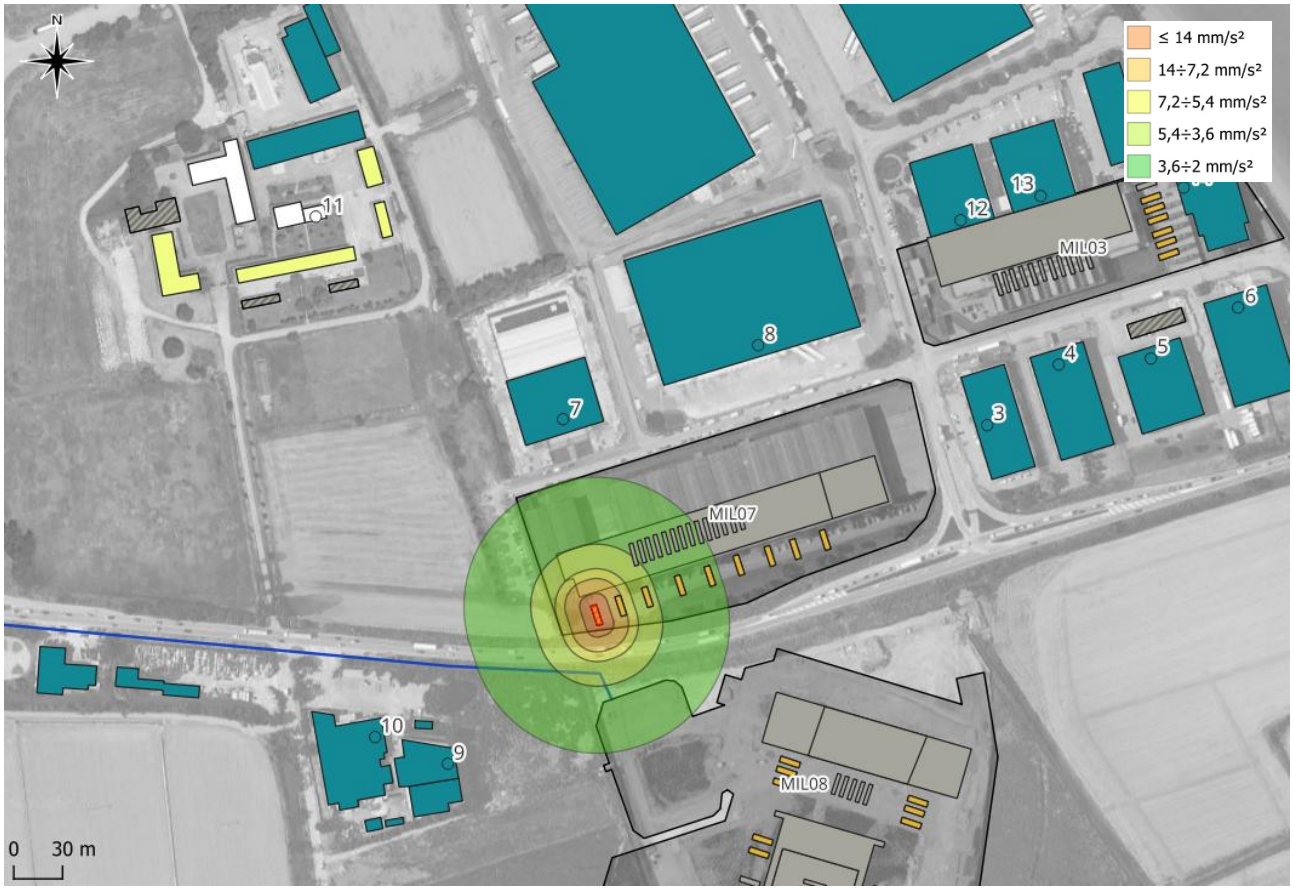



*Figura 7-13 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 5 per MIL07*

**Fase di esercizio dei generatori MIL07 – Scenario di test 6**

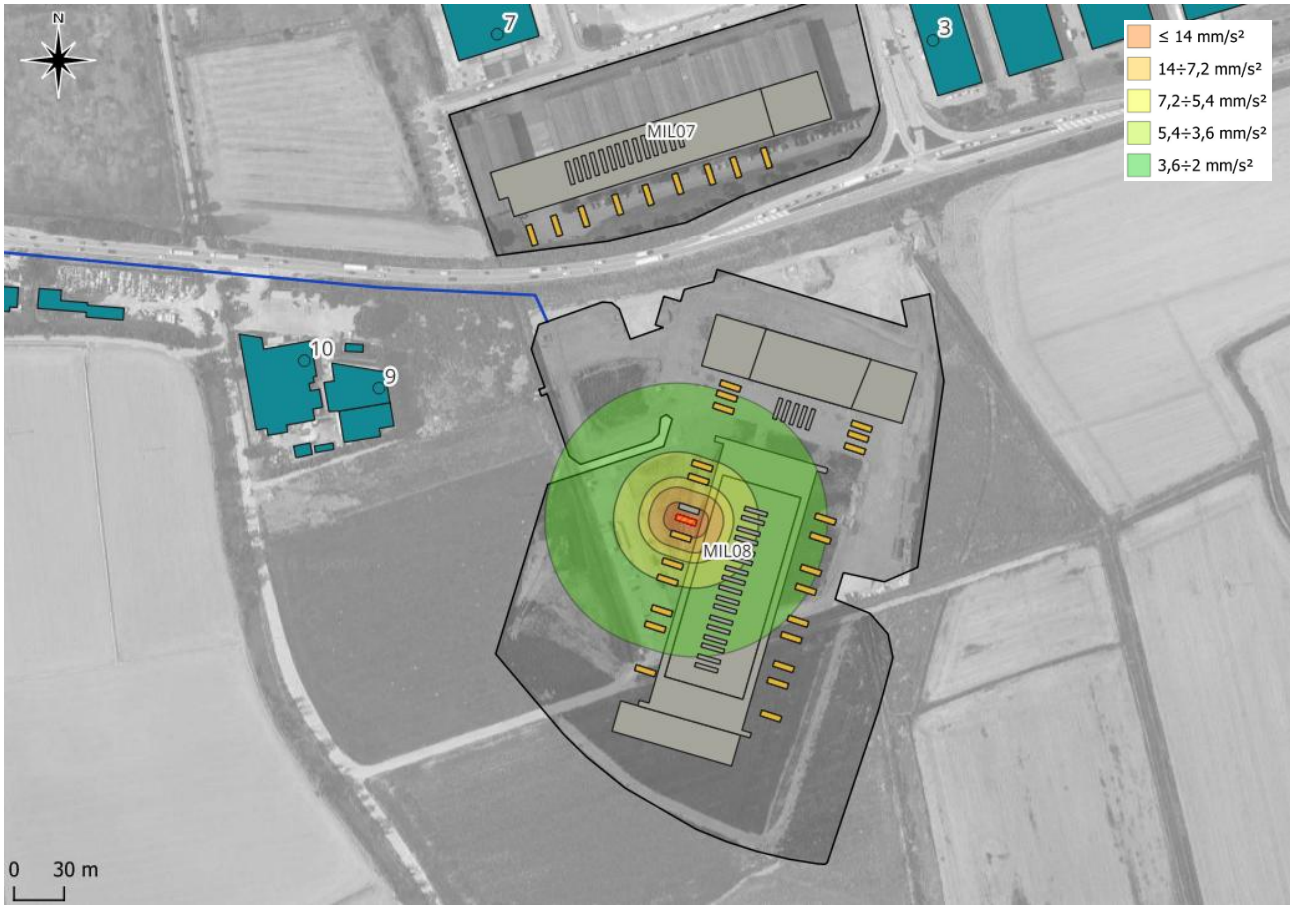



*Figura 7-14 Ampiezza propagazione delle vibrazioni in fase di esercizio – Scenario di test 6 per MIL08*

La tabella seguente riporta i valori di accelerazione stimati presso i ricettori più prossimi e rappresentativi delle rispettive destinazioni d'uso (produttiva-commerciale e residenziale), in relazione ai diversi scenari di test analizzati, confrontati con i limiti di riferimento previsti dalla UNI 9614:2017.

| Nome | Dest. D'uso | Distanza area cantiere m | Limite diurno mm/s² | Valore vibrazioni al ricettore mm/s² | Confronto con il limite del periodo diurno |
|---|---|---|---|---|---|
| **Scenario di test 1 – MIL01** | | | | | |
| R1 | Residenziale | 370,0 | 7,2 | 0,6 | entro il limite |
| R2 | Residenziale | 359,7 | 7,2 | 0,6 | entro il limite |
| **Scenario di test 2 – MIL01** | | | | | |
| R15 | Produttiva | 160,7 | 14 | 1,1 | entro il limite |
| **Scenario di test 3 – MIL02** | | | | | |
| R20 | Produttiva | 67,5 | 14 | 2,2 | entro il limite |

| Nome | Dest. D'uso | Distanza area cantiere m | Limite diurno mm/s² | Valore vibrazioni al ricettore mm/s² | Confronto con il limite del periodo diurno |
|---|---|---|---|---|---|
| R21 | Produttiva | 89,7 | 14 | 1,8 | entro il limite |
| **Scenario di test 4 – MIL03** | | | | | |
| R14 | Produttiva | 14,6 | 14 | 7,6 | entro il limite |
| **Scenario di test 5 – MIL07** | | | | | |
| R5 | Produttiva | 115,2 | 14 | 1,5 | entro il limite |
| R11 | Residenziale | 292,9 | 7,2 | 0,7 | entro il limite |
| **Scenario di test 6 – MIL08** | | | | | |
| R9 | Produttiva | 177,4 | 14 | 1,0 | entro il limite |
| R10 | Produttiva | 221,5 | 14 | 0,9 | entro il limite |

In riferimento agli stralci cartografici riportati in precedenza e all'analisi dei ricettori presenti nell'ambito di studio dello stato di progetto, si evidenzia che nessun ricettore risulta compreso nell'area di propagazione delle vibrazioni con valori superiori ai limiti previsti per la rispettiva destinazione d'uso; pertanto, per tutti i ricettori si stima un livello di accelerazione conforme alle soglie di riferimento della norma UNI 9614:2017 per il periodo diurno, determinando un clima vibrazionale complessivamente conforme durante il funzionamento dei generatori elettrici.

### *7.2.3 Viabilità pertinente al data center*

L'esercizio della viabilità determina limitate emissione di vibrazioni in fase di esercizio. Come noto le vibrazioni indotte dal passaggio di veicoli si esaurisce nella prossimità del limite della carreggiata e la loro variazione è funzione principalmente dello stato dello strato di usura della pavimentazione stradale. Pertanto, considerato le possibili limitate vibrazioni indotte dalla viabilità pertinente al sito ed il contesto territoriale in cui si colloca la viabilità, tale aspetto può essere considerato nel presente studio come trascurabile, raccomandando comunque la buona manutenzione della pavimentazione stradale ed evidenziando di seguito alcune raccomandazioni in fase di esercizio.

Allo scopo di ottimizzare il rapporto dell'opera nella fase di esercizio con l'ambiente circostante, si indicano delle possibili opere di mitigazioni, le quali potrebbero eventualmente essere messe in atto.

Per la riduzione delle vibrazioni associato alla fase di esercizio è necessario premettere che uno dei sistemi di mitigazione più efficienti è la manutenzione del manto stradale; la predisposizione di adeguati piani di manutenzione programmata del manto stradale nel corso della vita del sito, ne assicura la conservazione delle caratteristiche di continuità, evitando pertanto la formazione di discontinuità, ammaloramenti, ormaie o quant'altro possa determinare la generazione di azioni dinamiche in grado di sollecitare il corpo stradale

ed il terreno sottostante, con conseguente propagazione laterale delle vibrazioni. È infatti evidente il ruolo svolto dalla rugosità del fondo stradale, e pertanto dalle sue condizioni di manutenzione, nella riduzione dell'entità delle vibrazioni trasmesse nel terreno circostante; tale evidenza fisica è rappresentata nella figura seguente, da cui si ricava che, a parità di altre condizioni, la cattiva manutenzione del fondo stradale può comportare un incremento, anche di un ordine di grandezza, dell'ampiezza delle vibrazioni trasmesse ad un edificio.

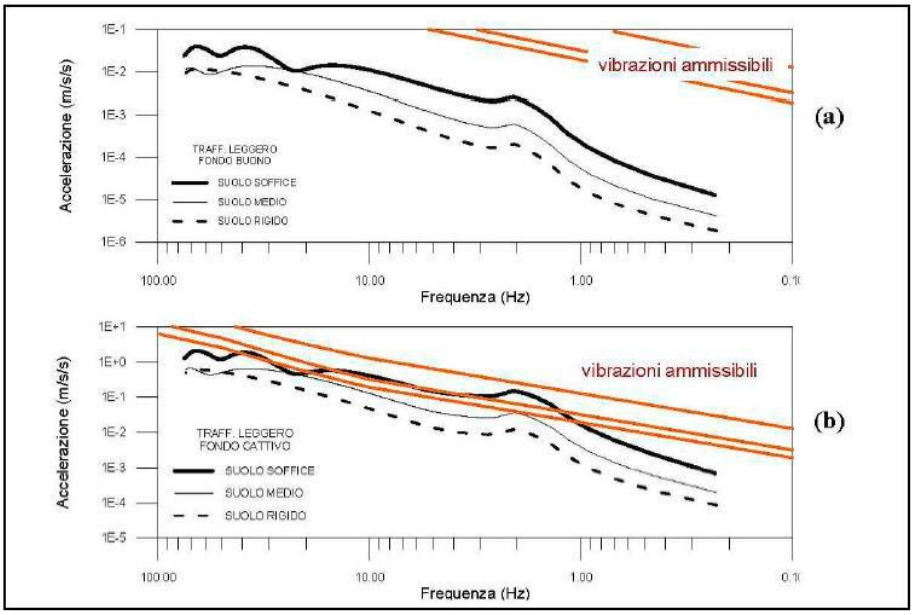



*Figura 7-15 - Influenza della rugosità del fondo stradale - (a) fondo buono - (b) fondo scadente*

Gli interventi di mitigazione delle vibrazioni eventuali possono essere suddivisi in due tipologie:

- Interventi di tipo passivo;
- Interventi di tipo attivo.

Gli interventi di tipo passivo consistono nella riduzione della propagazione delle vibrazioni introducendo degli ostacoli nel mezzo di propagazione delle stesse nel percorso tra la sorgente ed il ricettore. Interventi di tipo passivo possono essere trincee profonde o diaframmi realizzati nel terreno parallelamente alla strada, i quali interrompono la propagazione delle onde. I diaframmi possono essere realizzati verticalmente con spostamento del suolo (p.es. infissione setto prefabbricato), con mescolamento di suolo in situ (p.es. jet-grouting) o con asportazione del terreno (p.es. trincee profonde).

Gli interventi di tipo attivo hanno lo scopo di ridurre l'emissione della vibrazione sulla sorgente e possono prevedere interventi sulla piattaforma stradale. Gli interventi di tipo attivo possono essere relativi a platee di tipo flottante, con materassino elastomerico, oppure utilizzando manufatti flottanti in calcestruzzo armato, con sospensioni in gomma come piastre elastomeriche.

In generale, la soluzione prevede quindi che sia individuato il tipo di materassino antivibrante che si intende impiegare nell'opera e la sua integrazione nel pacchetto stradale. Da letteratura i materassini (elastomerici)

hanno una densità da 100 a 600 kg/m$^3$, spessori da 20 a 50 mm e prestazioni di riduzione delle vibrazioni di almeno 10 dB. In applicazione in tratti allo scoperto la scelta dovrà prevedere materiali adatti per applicazione all'esterno.

# 8 CONCLUSIONI

Il presente studio ha riguardato la Valutazione Previsionale di Impatto Vibrazionale relativa alla realizzazione ed esercizio del Data Center CAMPUS costituito da cinque siti (MIL01, MIL02, MIL03, MIL07, MIL08) distinti nel Comune di Siziano, in base alla norma UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo".

Lo scopo del presente studio è stata la verifica dei livelli all'interno dei recettori potenzialmente influenzati dalle emissioni di vibrazioni dell'impianto in esame, in riferimento alla UNI 9614:2017 e le eventuali misure di mitigazione realizzabili.

L'indagine dello stato attuale individua un'area in cui le emissioni delle vibrazioni attuali rispettano i limiti previsti dalla UNI 9614:2017. Ai fini della verifica dell'impatto delle vibrazioni in fase di progetto è stato sviluppato un modello previsionale per valutare i livelli di vibrazione generati da ciascun sito del Data Center CAMPUS nel suo funzionamento a regime che comprende anche le operazioni di test di manutenzione dei generatori di emergenza.

Per quanto riguarda i chiller, sia installati in copertura sia su strutture di tipo gantry, si può ritenere che, qualora siano posizionati su sistemi antivibranti appropriati e collegati alle reti impiantistiche tramite giunti flessibili, essi non costituiscano sorgenti significative di vibrazione, né generino livelli vibrazionali tali da risultare percepibili o da propagarsi nel terreno circostante.

Per quanto riguarda le accensioni dei generatori in condizioni di emergenza, tali eventi non sono stati considerati nella presente valutazione vibrazionale. Coerentemente con quanto previsto per la componente rumore, le emissioni associate alle condizioni di emergenza non rientrano infatti tra gli scenari oggetto di valutazione, in quanto non soggette ai limiti normativi applicabili alle ordinarie condizioni di esercizio, come richiamato dalle Linee Guida MASE (D.D. VA n. 257 del 02/08/2024) con riferimento alla componente acustica. Pertanto, anche la corrispondente componente vibrazionale associata alle accensioni in emergenza non è stata oggetto della presente analisi.

Il test di verifica è effettuato attivando temporalmente un generatore per volta e mai uno o più contemporaneamente. L'analisi mostra che i limiti saranno comunque rispettati durante il regolare funzionamento dei data center, test di verifica dei generatori di emergenza inclusi.

Al fine di valutare le emissioni di vibrazione in fase di esercizio, la funzione di trasferimento è stata definita assumendo che lo spettro di emissione vibrazionale di un generatore elettrico diesel installato in box insonorizzato sia assimilabile a quello di un autocarro.

Sono stati pertanto analizzati i livelli vibrazionali ottenuti mediante la valutazione delle mappe di isolivello e delle relative interferenze con i ricettori considerati. Sulla base dei risultati ottenuti, si conclude che il contributo delle vibrazioni generate dall'impianto Data Center nella fase di esercizio risulta conforme ai limiti

di riferimento previsti dalla UNI 9614:2017 presso tutti i ricettori considerati, sia nel periodo diurno sia nel periodo notturno.

Per la fase di cantiere, la valutazione è stata condotta su tre scenari di lavoro, definiti considerando la massima sovrapposizione delle lavorazioni previste, al fine di rappresentare cautelativamente la configurazione operativa. Gli scenari individuati sono i seguenti:

- Scenario 01: scavo e movimentazione terre;
- Scenario 02: costruzione e allestimento dei fabbricati, allestimento impianti esterni;
- Scenario 03: costruzione cavidotto.

Come già precedentemente indicato, per la valutazione delle lavorazioni di cantiere è stata applicata la metodologia del "*Worst Case Scenario*". Questo permette di valutare le condizioni di esposizione alle vibrazioni indotte dalle attività di cantiere e di verificare il rispetto dei limiti della norma UNI 9614:2017 nelle condizioni operative più gravose sul territorio, che nel caso positivo, permettono di accertare una condizione di rispetto anche nelle situazioni meno critiche.

Nei tre scenari analizzati, le operazioni propedeutiche alla realizzazione dei corpi di fabbrica e dei relativi servizi di supporto risultano conformi ai limiti di riferimento previsti dalla UNI 9614:2017 per tutti i ricettori considerati, sia a destinazione residenziale sia a destinazione produttiva-commerciale. Non si prevedono, pertanto, superamenti dei limiti normativi presso alcun ricettore.

Si evidenzia, inoltre, che le ipotesi assunte per il modello vibrazionale sono fortemente cautelative, in quanto tutte le sorgenti emissive presenti all'interno dei cantieri fissi sono state modellate come sorgenti puntuali, ipotizzate contemporaneamente attive e localizzate in corrispondenza del perimetro dell'area di cantiere.

In termini di disturbo alle persone va evidenziato come, in generale, tutte le lavorazioni che danno origine a vibrazioni e che potrebbero arrecare disturbo ai residenti prossimi alle aree di lavoro si svolgono in orario diurno. In termini di severità, l'impatto atteso si estenderà alla sola limitata durata dei lavori e sarà, quindi, limitato nel tempo, senza determinare il superamento dei limiti di riferimento presso i ricettori considerati.

Pur non rendendosi necessarie specifiche misure di mitigazione, in considerazione del rispetto dei limiti di riferimento, si ritiene opportuno adottare alcune buone pratiche operative finalizzate a minimizzare ulteriormente gli effetti vibrazionali, quali la conduzione dei mezzi in cantiere con diligenza, in modo da evitare la generazione di vibrazioni non utili al ciclo di lavoro, oltre al coordinamento delle lavorazioni in funzione della fruizione dei ricettori.

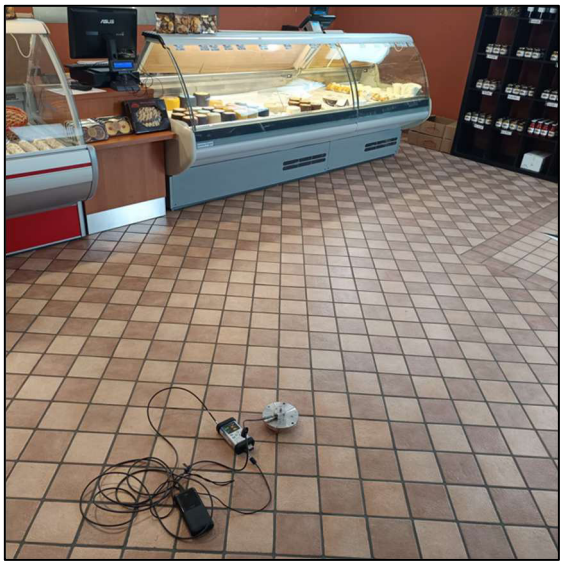
Alla luce degli esiti della presente valutazione, non si rende necessaria la predisposizione di uno specifico Piano di Gestione dell'Impatto Vibrazionale di Cantiere ai fini del rispetto dei limiti previsti dalla UNI 9614:2017. Resta comunque facoltà dell'Appaltatore adottare, nell'ambito della gestione del cantiere, ulteriori misure organizzative e gestionali volte a minimizzare gli effetti vibrazionali durante le lavorazioni.

**Allegato 1 – Certificati misure vibrometriche**

## MISURA DI VIBRAZIONI - UNI 9614:2017

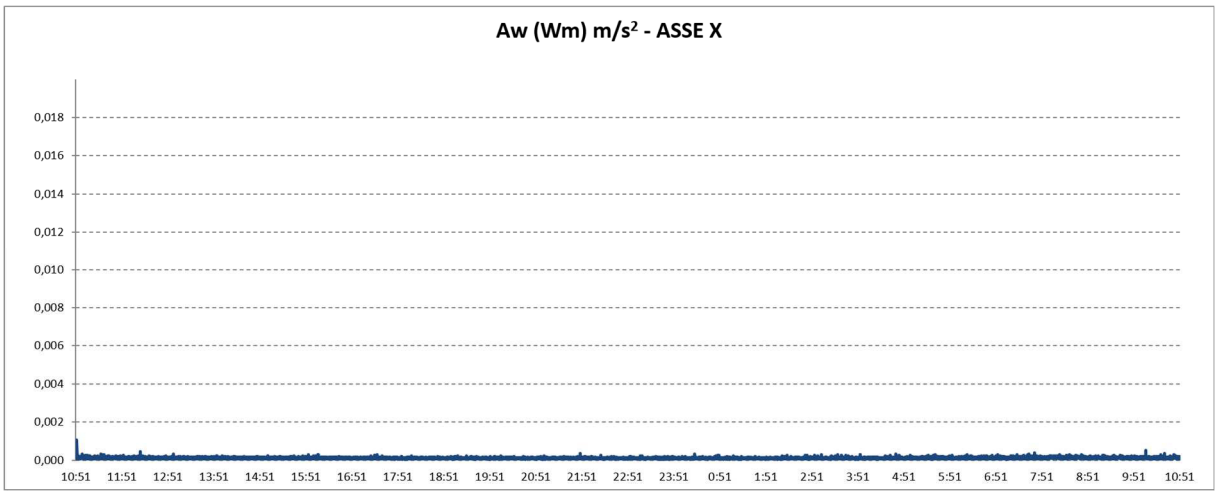
| | |
|---|---|
| Postazione: | **VIB_01** |
| Indirizzo: | **Cascina Granzetta (45°19'39.15"N; 9°12'36.85"E)** |
| Data e ora inizio rilevazione: | **dal 16.06.26 ore 10:51 al 17.06.26 ore 10:51** |
| Strumentazione impiegata: | **SVAN 958A matricola 59197** |
| Tecnico | **ing. Tiziano Baruzzo** |

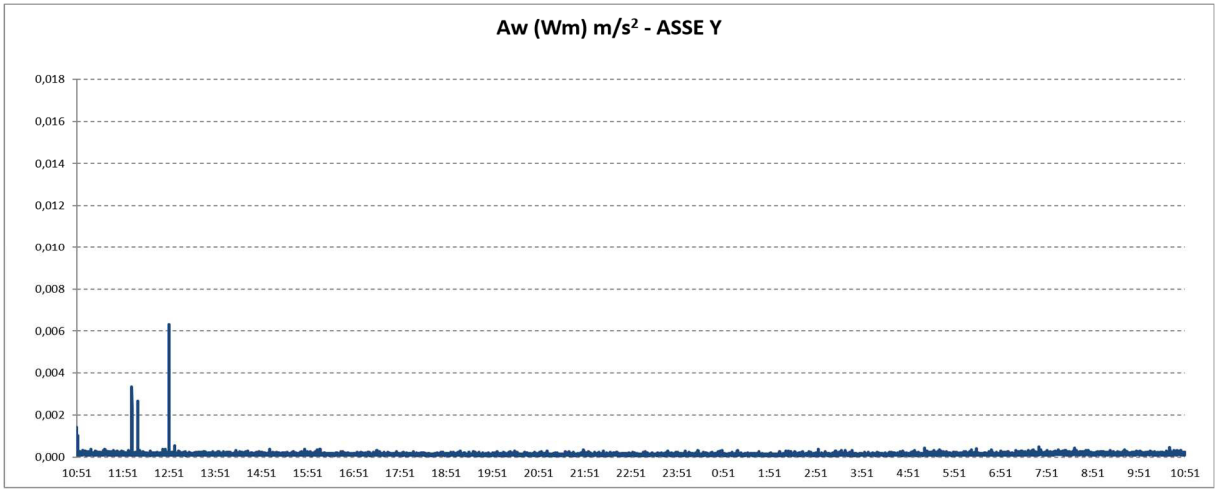
## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E LOCALIZZAZIONE SITO DI INDAGINE

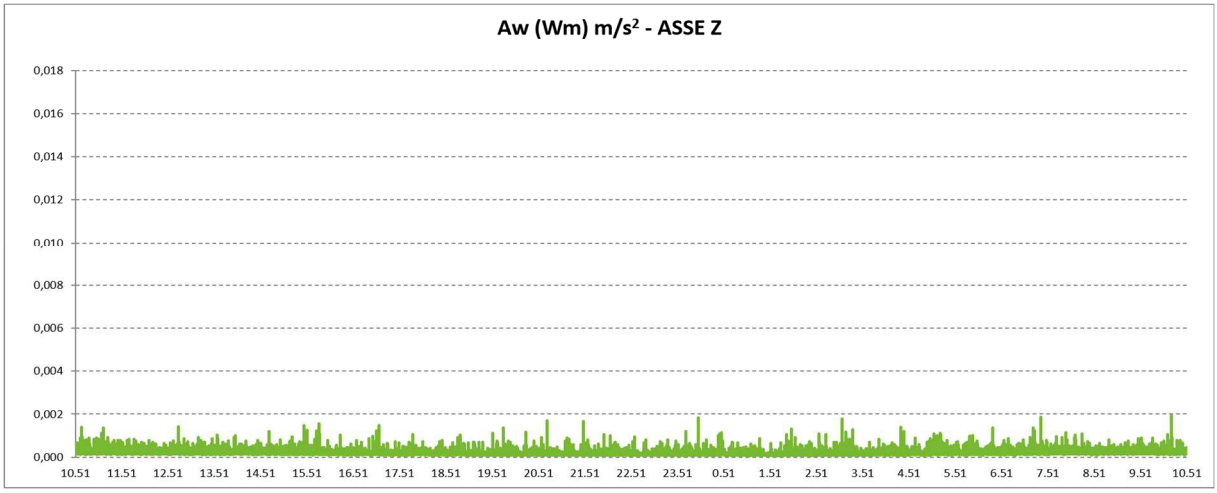


## TIME HYSTORY – ASSE X, ASSE Y e ASSE Z

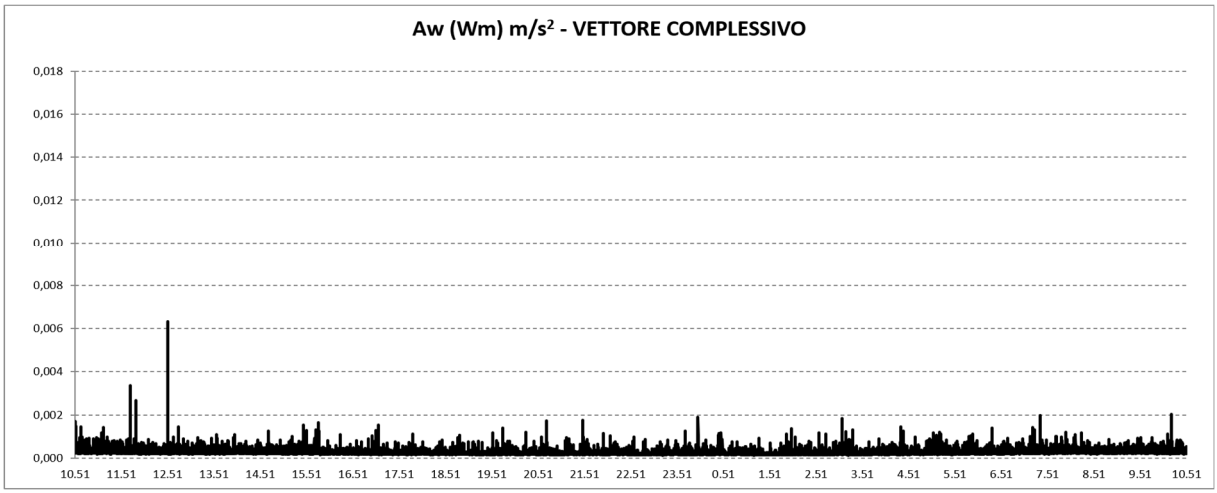
Impostazione acquisizione: campionamento al secondo (1s) contemporaneamente sui tre assi ortogonali con terna accelerometrica, filtro di ponderazione Wm.



## TIME HISTORY – VETTORE COMPLESSIVO




## VETTORE IMMISSIONE (Vimm) - PERIODO DIURNO

| **Valore di Immissione - Valutazione eventi periodo diurno** (Massimo valore di accelerazione caratterizzante il periodo) | | | |
|---|---|---|---|
| **Eventi di riferimento** | **Media aw Max** ($m/s^2$) | **SIGMA scarto aw** ($m/s^2$) | **Vimm DIU aw 95** ($m/s^2$) |
| Identificati 500 eventi nel periodo di riferimento | 0,0008 | 0,0002 | 0,0012 |

## VETTORE IMMISSIONE (Vimm) - PERIODO NOTTURNO

| **Valore di Immissione - Valutazione eventi periodo notturno** (Massimo valore di accelerazione caratterizzante il periodo) | | | |
|---|---|---|---|
| **Eventi di riferimento** | **Media aw Max** ($m/s^2$) | **SIGMA scarto aw** ($m/s^2$) | **Vimm NOT aw 95** ($m/s^2$) |
| Identificati 250 eventi nel periodo di riferimento | 0,0007 | 0,0002 | 0,0011 |

## VETTORE RESIDUO (Vres)

| **Valore di Residuo - Valutazione eventi** (Massimo valore di residuo) | | | |
|---|---|---|---|
| **Eventi di riferimento** (determinato con eventi identificati in assenza di traffico veicolare e/o altri sorgenti) | **Media aw Max** ($m/s^2$) | **SIGMA scarto aw** ($m/s^2$) | **Vres aw 95** ($m/s^2$) |
| Periodo diurno: identificati 500 eventi assimilati a vibrazioni residue | 0,0002 | 0,0000 | 0,0002 |
| Periodo notturno: identificati 250 eventi assimilati a vibrazioni residue | 0,0001 | 0,0000 | 0,0002 |

## VETTORE SORGENTE (Vsorg)

Valore di riferimento proposto: UNI 9614:2017 "Misure delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" per abitazioni (diurno: 6:00 - 22:00) confronto parametro descrittore della sorgente Vsorg con i limiti di riferimento (periodo diurno: 7,2 $mm/s^2$), per abitazioni (notte: 22:00 - 6:00) confronto parametro descrittore della sorgente Vsorg con i limiti di riferimento (periodo notturno: 3,6 $mm/s^2$), per luoghi di lavoro confronto parametro descrittore della sorgente Vsorg con i limiti di riferimento: 14 $mm/s^2$; ospedali, case di cura ed affini: 2 $mm/s^2$; asili e case di riposo: 3,6 $mm/s^2$; scuole e università: 5,4 $mm/s^2$.

| **Valutazione del disturbo secondo la normativa UNI 9614:2017** | | | |
|---|---|---|---|
| **Periodo di riferimento** | **Vsorg** | | **Valutazione** |
| | $m/s^2$ | $mm/s^2$ | |
| Diurno | 0,0012 | 1,2 | Valore misurato inferiore al limite interno per luoghi di lavoro: 14,0 $mm/s^2$ |
| Notturno | 0,0011 | 1,1 | Valore misurato inferiore al limite interno per luoghi di lavoro: 14,0 $mm/s^2$ |

**Allegato 2 – Certificati strumentazione**

**Sky-lab S.r.l.**
*Area Laboratori*
*Via Belvedere, 42 Arcore (MB)*
*Tel. 039 5783463*
*skylab.tarature@outlook.it*

Centro di Taratura
*Calibration Centre*

Laboratorio di Taratura
*Calibration Laboratory*

00268

# Certificato di Taratura
*Certificate of Calibration*

**00268LAT 36168-V**



| | |
|---|---|
| - data di emissione<br>*date of issue* | 2025-07-25 |
| - cliente<br>*customer* | AMBIENTE S.R.L.<br>54033 - CARRARA (MS) |
| - destinatario<br>*receiver* | AMBIENTE S.R.L.<br>54033 - CARRARA (MS) |

Si riferisce a
*Referring to*

| | |
|---|---|
| - oggetto<br>*item* | Calibratore Accelerometrico |
| - costruttore<br>*manufacturer* | Tenlee |
| - modello<br>*model* | VC-01 |
| - matricola<br>*serial number* | 901009 |
| - data di ricevimento oggetto<br>*date of receipt of item* | 2025-07-25 |
| - data delle misure<br>*date of measurements* | 2025-07-25 |
| - registro di laboratorio<br>*laboratory reference* | Reg. 03 |

Il presente certificato di taratura è emesso in base all'accreditamento n. 00268 Calibration che attesta le capacità di misura e di taratura, le competenze metrologiche del Centro e la riferibilità delle tarature eseguite ai campioni nazionali e internazionali delle unità di misura del Sistema Internazionale delle Unità (SI) in conformità ai requisiti della norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025. L'accreditamento è rilasciato in accordo ai decreti attuativi della legge n. 273/1991 che ha istituito il Sistema Nazionale di Taratura (SNT).

*This certificate of calibration is issued in compliance with the accreditation n 00268 Calibration attesting the calibration and measurement capability, the metrological competence of the Centre and the traceability of calibration results to the national and international standards of the International System of Units (SI) in compliance with requirements of ISO/IEC 17025. The accreditation is granted according to decrees connected with Italian law No. 273/1991 which has established the National Calibration System.*

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure di taratura citate alla pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni o gli strumenti che garantiscono la catena di riferibilità del Centro e i rispettivi certificati di taratura in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.
*The measurement results reported in this Certificate were obtained following the calibration procedures given in the following page, where the reference standards or instruments are indicated which guarantee the traceability chain of the laboratory, and the related calibration certificates in the course of validity are indicated as well. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.*

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono state determinate conformemente alla ISO/IEC Guide 98-3 e al documento EA-4/02. Solitamente sono espresse come incertezza estesa ottenuta moltiplicando l'incertezza tipo per il fattore di copertura k corrispondente ad un livello di fiducia di circa il 95 %. Normalmente tale fattore k vale 2.
*The measurement uncertainties stated in this document have been determined according to the ISO/IEC Guide 98-3 and to EA-4/02. Usually, they have been estimated as expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k corresponding to a confidence level of about 95%. Normally, this factor k is 2.*

Direzione Tecnica
*(Approving Officer)*

.....

Firmato digitalmente da:
EMILIO GIOVANNI CAGLIO
Data: 30/07/2025 10:31:12

**Sky-lab S.r.l.**
*Area Laboratori*
*Via Belvedere, 42 Arcore (MB)*
*Tel. 039 5783463*
*skylab.tarature@outlook.it*

Centro di Taratura
*Calibration Centre*

Laboratorio di Taratura
*Calibration Laboratory*

00268

# Certificato di Taratura
*Certificate of Calibration*

**00268LAT 36168-V**



**Di seguito vengono riportate le seguenti informazioni:**
- la descrizione dell'oggetto in taratura (se necessaria);
- l'identificazione delle procedure in base alle quali sono state eseguite le tarature;
- una dichiarazione che identifichi in quale modo le misure sono metrologicamente riferibili;
- il luogo di taratura (se effettuata fuori dal Laboratorio);
- le condizioni ambientali e di taratura;
- i risultati delle tarature e la loro incertezza estesa.

***In the following, information is reported about:***
*- description of the item to be calibrated (if necessary);*
*- technical procedures used for calibration performed;*
*- a statement identifying how the measurements are metrologically traceable;*
*- site of calibration (if different from Laboratory);*
*- calibration and enviromental conditions;*
*- calibration results and their expanded uncertainty.*

Il presente Certificato di Taratura viene rilasciato in conformità alle prescrizioni dell'accreditamento concesso da ACCREDIA che ha valutato le capacità di taratura e misura del Laboratorio LAT n. 00268 e la sua riferibilità delle misure al sistema di unità SI o, nel caso questo non sia tecnicamente possibile, ad altri riferimenti accettati a livello internazionale.

## Strumenti sottoposti a verifica
***Instrumentation under test***

| Strumento | Costruttore | Modello | Matricola |
|---|---|---|---|
| Calibratore Accelerometrico | Tenlee | VC-01 | 901009 |

## Procedure tecniche e norme
***Technical procedures and standards***

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando la procedura di taratura N. PR 22 Rev. 5.
Le verifiche effettuate sull'oggetto della taratura sono in accordo con il metodo interno di taratura per confronto con accelerometro tarato secondo la ISO 16063-21:2003.

## Condizioni ambientali durante le misure
***Enviromental parameters during measurements***

| Parametro | Di riferimento | Intervallo di validità | All'inizio delle misure | Alla fine delle misure |
|---|---|---|---|---|
| Temperatura / °C | 23 | da 18 a 28 | 25 | 25 |
| Umidità / % | 50 | da 0 a 75 | 53 | 53 |
| Pressione / hPa | 1013 | da 800 a 1050 | 992 | 992 |

Nella determinazione dell'incertezza non è stata presa in considerazione la stabilità nel tempo dell'oggetto in taratura.

**Sky-lab S.r.l.**
*Area Laboratori*
*Via Belvedere, 42 Arcore (MB)*
*Tel. 039 5783463*
*skylab.tarature@outlook.it*

Centro di Taratura
*Calibration Centre*

Laboratorio di Taratura
*Calibration Laboratory*

00268

**Certificato di Taratura**
*Certificate of Calibration*

**00268LAT 36168-V**



## 1. Ispezione preliminare

Durante questa fase vengono eseguiti i controlli preliminari sulla strumentazione in taratura. I risultati di tali controlli sono riportati nella tabella sottostante.

| Controllo | Esito |
|---|---|
| Ispezione visiva iniziale | OK |
| Integrità meccanica | OK |
| Integrità funzionale | OK |
| Equilibrio termico | OK |
| Alimentazione | OK |
| Luogo di taratura | SEDE |

## 2. Misurando, modalità e condizioni di misura

Il misurando è il livello di accelerazione RMS generato, la sua stabilità, frequenza e relativa stabilità e distorsione totale. Il livello di accelerazione generato è calcolato come il rapporto tra la tensione in uscita dalla catena di riferimento e la sensibilità della catena di riferimento stessa. La taratura per la determinazione dell'ampiezza dell'accelerazione, è stata eseguita tramite il metodo del confronto con la catena di riferimento.

## 3. Livello di accelerazione generato

In questa prova viene verificato il livello di accelerazione generato e la sua stabilità in ampiezza.

| Livello nominale m/s² | Livello generato m/s² | Errore % | Massa applicata g | Stabilità livello % | Incertezza % |
|---|---|---|---|---|---|
| 9,80 | 9,79 | -0,08 | 10,8 | 0,40 | 0,80 |
| 9,80 | 9,86 | 0,65 | 64,5 | 0,12 | 0,80 |

## 4. Frequenza del livello generato

In questa prova viene verificata la frequenza del segnale generato e la relativa stabilità.

| Frequenza nominale Hz | Frequenza generata Hz | Errore % | Massa applicata g | Stabilità frequenza % | Incertezza Hz |
|---|---|---|---|---|---|
| 159,16 | 159,20 | 0,03 | 10,8 | 0,00 | 0,04 |
| 159,16 | 159,20 | 0,03 | 64,5 | 0,00 | 0,04 |

## 5. Distorsione del livello generato

In questa prova viene misurata la distorsione totale del segnale generato dal calibratore.

| Livello nominale m/s² | Livello generato m/s² | Distorsione % | Massa applicata g | Incertezza % |
|---|---|---|---|---|
| 9,80 | 9,79 | 2,90 | 10,8 | 0,12 |
| 9,80 | 9,86 | 0,54 | 64,5 | 0,12 |

Fine del certificato
*End of certificate*

**Sky-lab S.r.l.**
*Area Laboratori*
*Via Belvedere, 42 Arcore (MB)*
*Tel. 039 5783463*
*skylab.tarature@outlook.it*

Centro di Taratura LAT N° 163
*Calibration Centre*
Laboratorio Accreditato di Taratura
*Accredited Calibration Laboratory*

LAT N° 163



# CERTIFICATO DI TARATURA LAT 163 35443-V
## *Certificate of Calibration LAT 163 35443-V*

| | |
|---|---|
| - data di emissione<br>*date of issue* | 2025-05-05 |
| - cliente<br>*customer* | AMBIENTE S.P.A.<br>54033 - CARRARA (MS) |
| - destinatario<br>*receiver* | AMBIENTE S.P.A.<br>54033 - CARRARA (MS) |

Si riferisce a
*Referring to*

| | |
|---|---|
| - oggetto<br>*item* | Misuratore + Accelerometro |
| - costruttore<br>*manufacturer* | Svantek + Svantek |
| - modello<br>*model* | 958 + SV84 |
| - matricola<br>*serial number* | 59197 Ch 1-2-3 + N1471 |
| - data di ricevimento oggetto<br>*date of receipt of item* | 2025-04-28 |
| - data delle misure<br>*date of measurements* | 2025-05-05 |
| - registro di laboratorio<br>*laboratory reference* | Reg. 03 |

Il presente certificato di taratura è emesso in base all'accreditamento LAT N° 163 rilasciato in accordo ai decreti attuativi della legge n. 273/1991 che ha istituito il Sistema Nazionale di Taratura (SNT). ACCREDIA attesta le capacità di misura e di taratura, le competenze metrologiche del Centro e la riferibilità delle tarature eseguite ai campioni nazionali e internazionali delle unità di misura del Sistema Internazionale delle Unità (SI).
Questo certificato non può essere riprodotto in modo parziale, salvo espressa autorizzazione scritta da parte del Centro.

*This certificate of calibration is issued in compliance with the accreditation LAT N° 163 granted according to decrees connected with Italian law No. 273/1991 which has established the National Calibration System. ACCREDIA attests the calibration and measurement capability, the metrological competence of the Centre and the traceability of calibration results to the national and international standards of the International System of Units (SI).*
*This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing Centre.*

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure di taratura citate alla pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni o gli strumenti che garantiscono la catena di riferibilità del Centro e i rispettivi certificati di taratura in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.
*The measurement results reported in this Certificate were obtained following the calibration procedures given in the following page, where the reference standards or instruments are indicated which guarantee the traceability chain of the laboratory, and the related calibration certificates in the course of validity are indicated as well. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.*

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono state determinate conformemente alla Guida ISO/IEC 98 e al documento EA-4/02. Solitamente sono espresse come incertezza estesa ottenuta moltiplicando l'incertezza tipo per il fattore di copertura k corrispondente ad un livello di fiducia di circa il 95 %. Normalmente tale fattore k vale 2.
*The measurement uncertainties stated in this document have been determined according to the ISO/IEC Guide 98 and to EA-4/02. Usually, they have been estimated as expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k corresponding to a confidence level of about 95%. Normally, this factor k is 2.*

Direzione Tecnica
*(Approving Officer)*

Firmato digitalmente da:
EMILIO GIOVANNI CAGLIO
Data: 05/05/2025 12:31:50

**Sky-lab S.r.l.**
*Area Laboratori*
*Via Belvedere, 42 Arcore (MB)*
*Tel. 039 5783463*
*skylab.tarature@outlook.it*

Centro di Taratura LAT N° 163
*Calibration Centre*
Laboratorio Accreditato di Taratura
*Accredited Calibration Laboratory*

LAT N° 163



CERTIFICATO DI TARATURA LAT 163 35443-V
*Certificate of Calibration LAT 163 35443-V*

**Di seguito vengono riportate le seguenti informazioni:**
- la descrizione dell'oggetto in taratura (se necessaria);
- l'identificazione delle procedure in base alle quali sono state eseguite le tarature;
- gli strumenti/campioni che garantiscono la riferibilità del Centro;
- gli estremi dei certificati di taratura di tali campioni e l'Ente che li ha emessi;
- il luogo di taratura (se effettuata fuori dal Laboratorio);
- le condizioni ambientali e di taratura;
- i risultati delle tarature e la loro incertezza estesa.

***In the following, information is reported about:***
*- description of the item to be calibrated (if necessary);*
*- technical procedures used for calibration performed;*
*- instruments or measurement standards which guarantee the traceability chain of the Centre;*
*- relevant calibration certificates of those standards with the issuing Body;*
*- site of calibration (if different from Laboratory);*
*- calibration and enviromental conditions;*
*- calibration results and their expanded uncertainty.*

## Strumenti sottoposti a verifica
### *Instrumentation under test*

| Strumento | Costruttore | Modello | Matricola |
|---|---|---|---|
| Misuratore | Svantek | 958 | 59197 Ch 1-2-3 |
| Accelerometro | Svantek | SV84 | N1471 |

## Procedure tecniche, norme e campioni di riferimento
### *Technical procedures, Standards and Traceability*

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando la procedura di taratura N. PR 25 Rev.3.
Le verifiche effettuate sull'oggetto della taratura sono in accordo con quanto previsto dalla norma ISO 8041:2017 paragrafo 14.
Le tolleranze riportate sono relative alla classe di appartenenza dello strumento come definito nella norma ISO 8041:2017.
Nella tabella sottostante vengono riportati gli estremi dei campioni di riferimento dai quali ha inizio la catena della riferibilità del Centro.

| Strumento | Matricola | Certificato | Data taratura | Data scadenza |
|---|---|---|---|---|
| Barometro Druck RPT410V | 1614002 | LAT 128 128P-836/24 | 2024-10-09 | 2025-10-09 |
| Scheda acquisizione National Instruments NI USB-4431 | 150059D | LAT 019 75930 | 2024-09-20 | 2026-09-20 |
| Scheda acquisizione National Instruments NI USB-4431 | 150059D | INRIM 24-0658-08 | 2024-10-09 | 2026-10-09 |
| Accelerometro PCB Piezotronics 301A10 | 3272 | INRIM 23-0489-01 | 2023-06-06 | 2025-06-06 |
| Amplificatore di tensione PCB Piezotronics 482A21 | 2836 | INRIM 23-0489-01 | 2023-06-05 | 2025-06-05 |
| Termoigrometro LogTag UHADO-16 | A0C1012974L5 | 128U-538/23 | 2023-05-23 | 2025-05-23 |
| Accelerometro PCB Piezotronics 3711F112G | 14788 | INRIM 24-0658-05 | 2024-10-09 | 2026-10-09 |

## Condizioni ambientali durante le misure
### *Enviromental parameters during measurements*

| Parametro | Di riferimento | Intervallo di validità | All'inizio delle misure | Alla fine delle misure |
|---|---|---|---|---|
| Temperatura / °C | 23 | da 18 a 28 | 25 | 25 |
| Umidità / % | 50 | da 0 a 75 | 47 | 47 |
| Pressione / hPa | 1013 | da 800 a 1050 | 998 | 998 |

Nella determinazione dell'incertezza non è stata presa in considerazione la stabilità nel tempo dell'oggetto in taratura.

**Sky-lab S.r.l.**
*Area Laboratori*
*Via Belvedere, 42 Arcore (MB)*
*Tel. 039 5783463*
*skylab.tarature@outlook.it*



CERTIFICATO DI TARATURA LAT 163 35443-V
*Certificate of Calibration LAT 163 35443-V*

## 1. Ispezione preliminare

Durante questa fase vengono eseguiti i controlli preliminari sulla strumentazione in taratura. I risultati di tali controlli sono riportati nella tabella sottostante.

| Controllo | Esito |
|---|---|
| Ispezione visiva iniziale | OK |
| Integrità meccanica | OK |
| Integrità funzionale | OK |
| Equilibrio termico | OK |
| Alimentazione | OK |
| Luogo di taratura | SEDE |

## 2. Misurando, modalità e condizioni di misura

Il misurando è l'accelerazione letta sullo strumento in taratura. La taratura è stata eseguita applicando il metodo di confronto con la catena di riferimento.

| Impostazioni | | | |
|---|---|---|---|
| | Asse X | Asse Y | Asse Z |
| Metodo di fissaggio | colla cianoacrilica | colla cianoacrilica | colla cianoacrilica |
| Coppia di serraggio | non applicabile | non applicabile | non applicabile |
| Materiale supporto | acciaio inox | acciaio inox | acciaio inox |
| Orientamento trasduttore | orizzontale | orizzontale | orizzontale |
| Temperatura stimata trasduttore | 24,8 °C | 24,8 °C | 24,8 °C |
| Range | High n,a, | High n,a, | High n,a, |
| Pesatura in frequenza | Wm | Wm | Wm |

## 3. Sensibilità dell'intera catena

Nella tabella sottostante viene riportato il valore di sensibilità dell'intera catena alla frequenza specificata. Viene specificata sia la sensibilità letta prima della messa in punto sia dopo la messa in punto.
L'incertezza riportata in tabella è uguale a 2,5 % + r % eccedente a 0.5, dove r è il contributo della risoluzione dello strumento in taratura.

| Asse | Frequenza / Hz | Sensibilità iniziale / mV/(m/s²) | Sensibilità finale / mV/(m/s²) | Ritarato | Incertezza / % |
|---|---|---|---|---|---|
| Asse X | 16 | 106 | 106 | no | 2,5 |
| Asse Y | 16 | 108 | 108 | no | 2,5 |
| Asse Z | 16 | 105 | 105 | no | 2,5 |

**Sky-lab S.r.l.**
*Area Laboratori*
*Via Belvedere, 42 Arcore (MB)*
*Tel. 039 5783463*
*skylab.tarature@outlook.it*



CERTIFICATO DI TARATURA LAT 163 35443-V
*Certificate of Calibration LAT 163 35443-V*

## 4. Risposta dell'intera catena

Le tolleranze riportate sono quelle della norma ISO 8041:2017.

L'incertezza riportata in tabella è uguale a 2,5 % + r % eccedente a 0.5, dove r è il contributo della risoluzione dello strumento in taratura.

**Asse X**

| Frequenza / Hz | Accelerazione impostata / m/s² | Accelerazione di riferimento pesata / m/s² | Lettura strumento / m/s² | Differenza / % | Incertezza / % | Tolleranza norma / % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1,0 | 0,929 | 0,922 | -0,7 | 2,5 | +12/-11 |
| 8 | 1,0 | 0,606 | 0,617 | 1,8 | 2,5 | +12/-11 |
| 16 | 0,1 | 0,034 | 0,0343 | 0,3 | 2,5 | +6/-6 |
| 16 | 1,0 | 0,336 | 0,338 | 0,7 | 2,5 | +6/-6 |
| 16 | 10,0 | 3,366 | 3,39 | 0,7 | 2,5 | +6/-6 |
| 63 | 1,0 | 0,083 | 0,0836 | 0,2 | 2,5 | +12/-11 |

**Asse Y**

| Frequenza / Hz | Accelerazione impostata / m/s² | Accelerazione di riferimento pesata / m/s² | Lettura strumento / m/s² | Differenza / % | Incertezza / % | Tolleranza norma / % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1,0 | 0,930 | 0,915 | -1,6 | 2,5 | +12/-11 |
| 8 | 1,0 | 0,609 | 0,614 | 0,8 | 2,5 | +12/-11 |
| 16 | 0,1 | 0,034 | 0,0340 | -0,3 | 2,5 | +6/-6 |
| 16 | 1,0 | 0,334 | 0,334 | 0,0 | 2,5 | +6/-6 |
| 16 | 10,0 | 3,361 | 3,35 | -0,3 | 2,5 | +6/-6 |
| 63 | 1,0 | 0,083 | 0,0830 | -0,5 | 2,5 | +12/-11 |

**Asse Z**

| Frequenza / Hz | Accelerazione impostata / m/s² | Accelerazione di riferimento pesata / m/s² | Lettura strumento / m/s² | Differenza / % | Incertezza / % | Tolleranza norma / % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1,0 | 0,930 | 0,925 | -0,6 | 2,5 | +12/-11 |
| 8 | 1,0 | 0,610 | 0,622 | 2,0 | 2,5 | +12/-11 |
| 16 | 0,1 | 0,034 | 0,0343 | 0,3 | 2,5 | +6/-6 |
| 16 | 1,0 | 0,336 | 0,339 | 1,0 | 2,5 | +6/-6 |
| 16 | 10,0 | 3,363 | 3,38 | 0,5 | 2,5 | +6/-6 |
| 63 | 1,0 | 0,083 | 0,0802 | -3,8 | 2,5 | +12/-11 |